



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Laboratorieberetning 1969 - 1972

Jacobsen, Moust; Jørgensen, Mogens B.

Publication date:
1972

Document Version
Tidlig version også kaldet pre-print

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Jacobsen, M., & Jørgensen, M. B. (1972). *Laboratorieberetning 1969 - 1972*. Danmarks Ingeniørakademi, Bygningsafdelingen Aalborg. Rapport Nr. 3

General rights

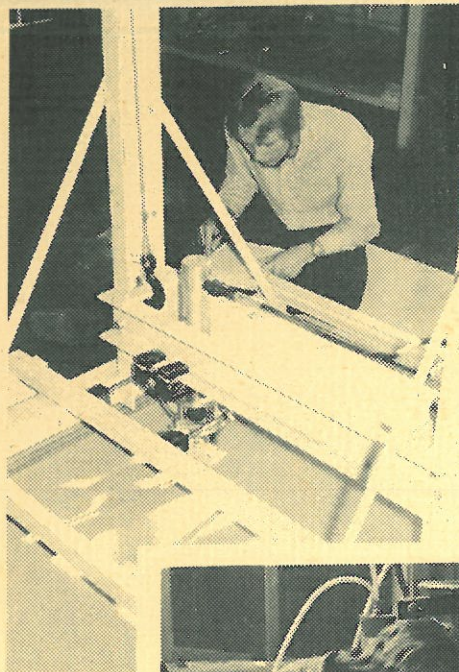
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Danmarks Ingeniørakademi
Bygningsafdelingen Aalborg
FUNDERING



Rapport
no 3
Nov 1972

Laboratorieberetning 1969 - 1972

MOUST JACOBSEN
MOGENS B. JØRGENSEN

FORORD

Nærværende beretning indgår som et led i den rapportserie, der udarbejdes af funderingslaboratoriet ved DIA's bygningsafdeling i Aalborg.

Rapporterne udarbejdes med det formål at opnå, at vore erfaringer kommer til at foreligge på færdig og let tilgængelig form. Rapporternes indhold har derfor ofte et rent pædagogisk sigte. Det er dog vort håb med tiden at opnå sådanne resultater i laboratoriet, at nogle af rapporterne vil kunne levere bidrag til den faglige debat.

Af økonomiske grunde er det ikke muligt at udsende hele serien, der dog heller ikke kan formodes at have interesse for en større kreds.

I stedet har vi valgt at lade laboratorieberetninger indgå i serien. På sidste side findes her et resume af de hidtidigt udarbejdede rapporter, der i en vis udstrækning vil kunne rekvireres af særligt interesserede.

Hensigten med laboratorieberetningen er at fortælle interesserede, hvad vi arbejder med. Samtidig håber vi, at eventuelle gode ideer hos praktiserende ingeniører kan hjælpe os til at gøre vort forsøgsprogram så relevant og praktisk benyttet som muligt af hensyn til de vordende bygningsingeniører, der som led i deres uddannelse deltager i forsøgsprogrammet.

Desværre er vi kun i stærkt begrænset omfang i stand til at benytte laboratoriet direkte til konsultative opgaver på grund af den store undervisningsbyrde, og man må derfor forvente, at egnede problemer løses langsomt.

INDHOLDSFORTEGNELSE

Indledning	side 1
Laboratoriets indretning	3
Lokaleforhold	3
Laboratorieplan	4
Forsøgsopstillinger	5
Forsøgsgruber	6
Introduktion	6
Valg af forsøgssand	7
Valg af lerfyld	7
Sandgrube	9
Silo	9
Transportanlæg	11
Lufttæt forsøgskasse	13
Belastningsvogn	15
Udlejring af sand	16
Poretalsbestemmelse	17
Forsøgstyper	17
Modelfundamenter	18
Måleinstrumenter	18
Forsøgsprocedure	18
Elevforsøg i 1970 - 72	19

Triaxialapparat	side 23
Introduktion	23
Måleprincipper	25
Manual	26
Elevforsøg i 1970 - 71	27
Konsolideringsapparat	29
Introduktion	29
Specifikationer	30
Manual	31
Elevforsøg i 1971	32
Demonstrationsmodeller	33
Introduktion	33
Konsolidering	35
Strømning i jord	36
Stabilitet af skråning	37
Brud i spunsveg	39
Samlet oversigt over elevarbejder i 1970 - 72	41
Resume af laboratoriets hidtil udførte rapporter ...	42

INDLEDNING

Funderingslaboratoriet må betragtes som et meget vigtigt led i undervisningen i geoteknik og fundering. Jord er, betragtet som byggemateriale, meget upålideligt i henseende til styrke- og deformationsegenskaber, og materialprøvning må derfor indgå i enhver større byggesag og dermed naturligvis også i undervisningen. Selv om man ad denne vej kan opnå et kendskab til jordens egenskaber, fremkalder mange konstruktioner så indviklede spændingstilstande i jorden, at modelforsøg og ikke beregninger i visse tilfælde må betragtes som det bedste ingeniørmæssige værktøj til løsning af praktisk forekommende opgaver. Da selv simple modelforsøg endvidere har stor pædagogisk værdi, hører også sådanne naturligt hjemme på ingeniørakademiet.

På nuværende tidspunkt må laboratoriet betragtes som opbygget så langt, at dets udvikling fremover ville kunne forudses, hvis ingeniørakademiet alene havde ansvaret herfor. Imidlertid gør usikkerheden omkring overgangen til Aalborg Universitetscenter det lidet tillokkende at spå om fremtiden, hvorfor vi har valgt alene at skildre det, der hidtil er sket. Samtidig ønsker vi dog at påpege, at opbygningen af laboratoriet er foregået således, at der er basis for en videreudvikling med henblik på højere uddannelser, og at det formentlig kan gøre god fyldest i en overgangsperiode.

Opbygningen af laboratoriet er væsentlig sket siden januar 1970 og har krævet en stor arbejdsindsats af faget, fordi langt den største del af udstyret er konstrueret af fagets medarbejdere. En del af apparaturet er udviklet i samarbejde med DIA's maskinafdeling i Aalborg, og faget Elkonstruktioner ved DIA's bygningsafdeling har hjulpet os med projekteringen af de elektriske systemer.

Hermed mener vi at have opnået et laboratorieudstyr, der på en række punkter er bedre end kommercielt fremstillede apparater, og samtidig har vi opnået meget væsentlige besparelser. Uden dog at have gjort det nøjere op, anslår vi på denne måde at have reduceret fremstillingsprisen for vort laboratorium med 50%.

I opbygningsfasen har de studerende spillet en vigtig rolle. Efterhånden som det blev muligt at begynde forsøg, har de studerende på 6. og 7. halvår udført forsøgsserier som led i deres kursusarbejde i fundering. Herved er mangler blevet rettet eller forbedringer foreslået. Derimod foreligger der ikke på nuværende tidspunkt egentlige forskningsresultater.

Også fagets medarbejdere har i et vist omfang udført laboratoriearbejde og vil gøre det fremover for på denne måde at udbygge den faglige viden og for at kunne opbygge nye elevforsøg.

I denne rapport er det hensigten at give en oversigt over forløbet af opbygningen fra den første begyndelse i maj 1969, da faget fik en teknisk assistent og til maj 1972, da det først planlagte laboratorium var opbygget. Vi markerer ikke herved at have nået et stagnationspunkt eller et helt tilfredsstillende niveau og håber naturligvis, at udviklingen kan fortsætte.

LABORATORIETS INDRETNING

Faget fundering blev oprettet ved DIAB-A i januar 1969 og i løbet af foråret opnåedes de nødvendige bevillinger til en teknisk assistent og til begyndende etablering af laboratorium. I løbet af sommeren og efteråret 1969 fik faget stillet de nødvendige lokaler til rådighed og efter en mindre ombygning kunne opbygningen af laboratoriet påbegyndes ved årsskiftet.

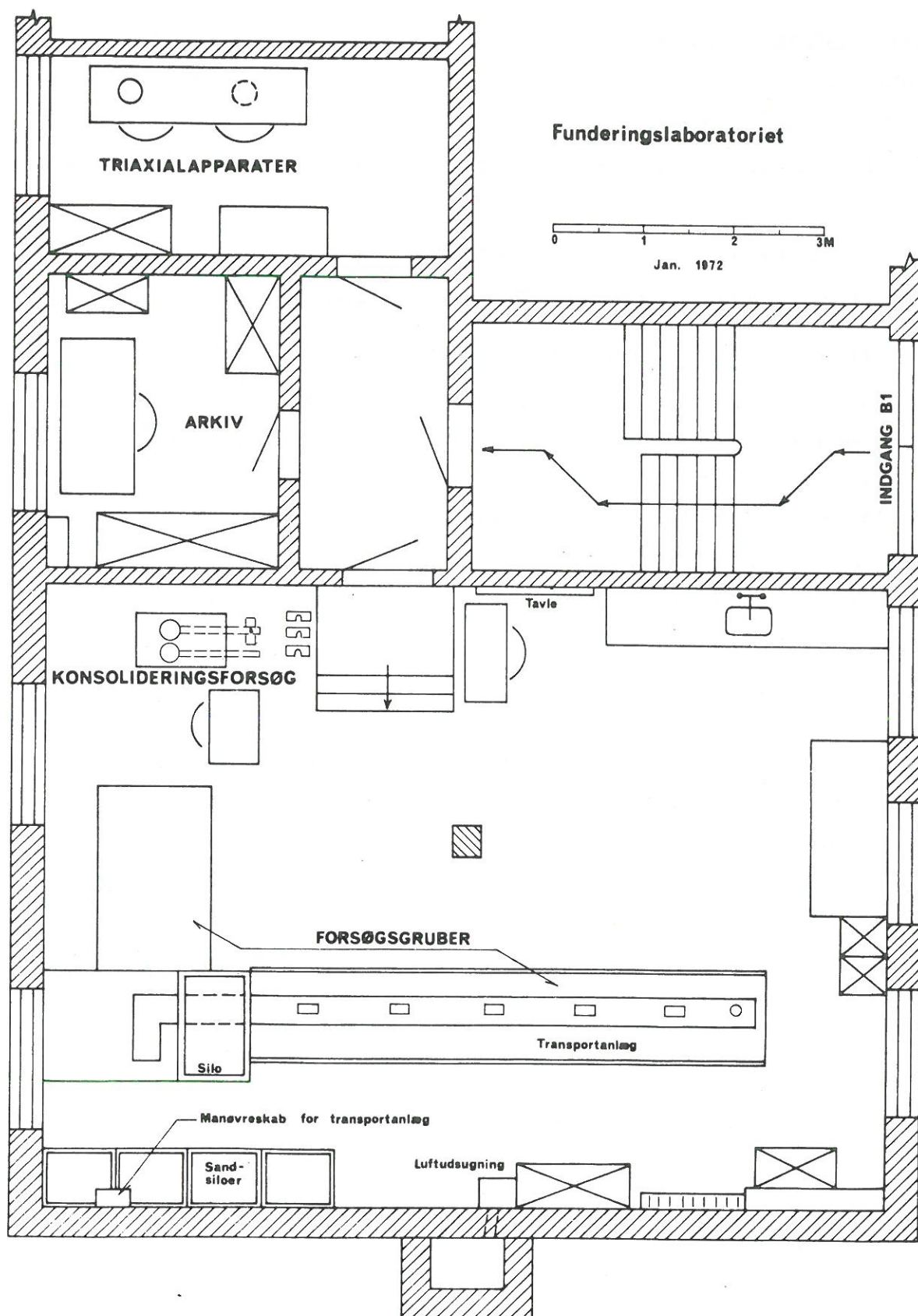
LOKALEFORHOLD

På side 4 er vist en plan over det kælderareal, som er blevet stillet til rådighed for funderingslaboratoriet. Som det fremgår af planen, er arealet opdelt i 3 lokaler, hvortil der er adgang fra en lille mellemgang.

Det største lokale har et gulvareal på 64 m^2 , mens de to mindre lokaler er henholdsvis på 8 og 10 m^2 .

Loftshøjden er 2,30 m i de små rum og 2,70 m i det store lokale, hvor gulvet ligger lavere; men på grund af rørføringer og bærende betonbjælker under loftet er nyttehøjden reduceret til 2,10 m overalt.

Det mindste rum er indrettet som arkiv og opbevaringssted for laboratoriets samling af jordprøver, medens de to øvrige rum er taget i anvendelse som forsøgslokaler.



FORSØGSOPSTILLINGER

I den forløbne periode har laboratorieopbygningen været koncentreret om følgende fire opgaver:

- 1) Opbygning af forsøgsgruber til modelforsøg på sand og ler.
- 2) Opstilling af triaxialapparat.
- 3) Opstilling af konsolideringsapparat.
- 4) Udvikling af egnede demonstrationsmodeller.

Det mest pladskrævende arrangement er en langstrakt forsøgsgrube med tilhørende sandsiloer og transportanlæg, som derfor er placeret i det største lokale. I denne grube kan der arbejdes uafhængigt med forsøgsopstillinger i 3 adskilte sektioner.

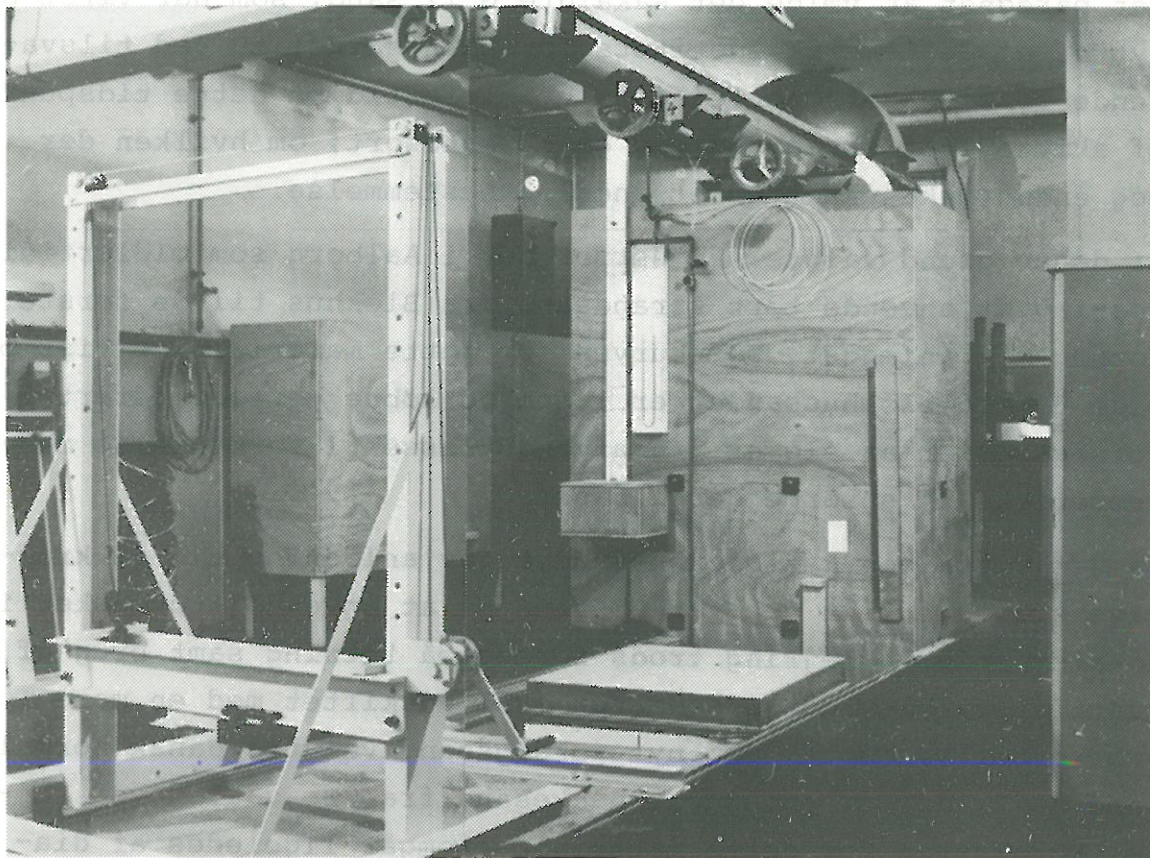
I samme lokale er anbragt opstillingen til konsolideringsforsøg, der på nuværende tidspunkt omfatter 2 konsolideringsapparater.

Triaxialudstyret, der kræver nogenlunde temperaturkonstans, er opstillet i det lille forsøgslokale, hvor man desuden undgår de støvgener, der er forbundet med forsøg i sandgruberne. Udstyret omfatter 2 komplette triaxialopstillinger, hvoraf dog endnu kun den ene er færdigmonteret til forsøgsbrug.

Placeringen af de tre forsøgsarrangementer fremgår af laboratorieplanen på side 4.

FORSØGSGRUBER

INTRODUKTION



Grubeanlægget omfatter en 5,7 m lang og 1 m bred hovedgrube indrettet til sandforsøg, samt en 2 m lang og 1 m bred reservergrube, der tænkes anvendt til fremtidige forsøg med lerfyld. Af hensyn til den begrænsede plads og loftshøjde i lokalet er gruberne helt nedsænket i kældergulvet. Den indvendige dybde i gruberne er 1,7 m.

I en yderligere uddybet forlængelse af sandgruben er anbragt en 3 m høj sandsilo med plads til ca. 3 m³ sand samt en kopelevator, der sammen med to transportsnegle udgør et transportanlæg til fremføring af sand ved udlejring og tilbage-transport af sand ved tømning af sandgruben.

Anlægget blev projekteret i slutningen af 1969 og udført i begyndelsen af 1970.

VALG AF FORSØGSSAND

Da grubeanlægget i sommeren 1970 var klar til forsøgsbrug, var det påregnet at vælge det såkaldte G-12 sand, som har været benyttet af Geoteknisk Instituts forskningsafdeling ved tilsvarende forsøg. Her overvejede man imidlertid på dette tidspunkt af skifte G-12 sandet ud med en ny sandsort, om hvilken der dog endnu ikke var truffet endelig bestemmelse.

Af denne grund valgte man derfor her i Aalborg som midlertidig løsning at anvende tørt strandsand fra Blokhuss til de første forsøg med anlægget. Kornkurven for dette materiale er vist på side 8. Med blokhussandet er i den forløbne periode udført 5 forsøgsserier af elever fra afgangsklassen i forbindelse med teoretiske kursusarbejder i faget.

Da det viste sig, at blokhussandet gav anledning til så kraftige støvgener, at det var nødvendigt at anvende støvmasker i lokalet under udlejring trods forsøg på tætning samt brug af ventilator, blev det i sommeren 1971 udskiftet med en mere grovkornet sandsort. Som nyt forsøgssand valgtes dansk normalsand no 2, der er en sigtet bakkesand fra Grejsdalen ved Vejle. Kornkurven for dette materiale fremgår ligeledes af diagrammet på side 8.

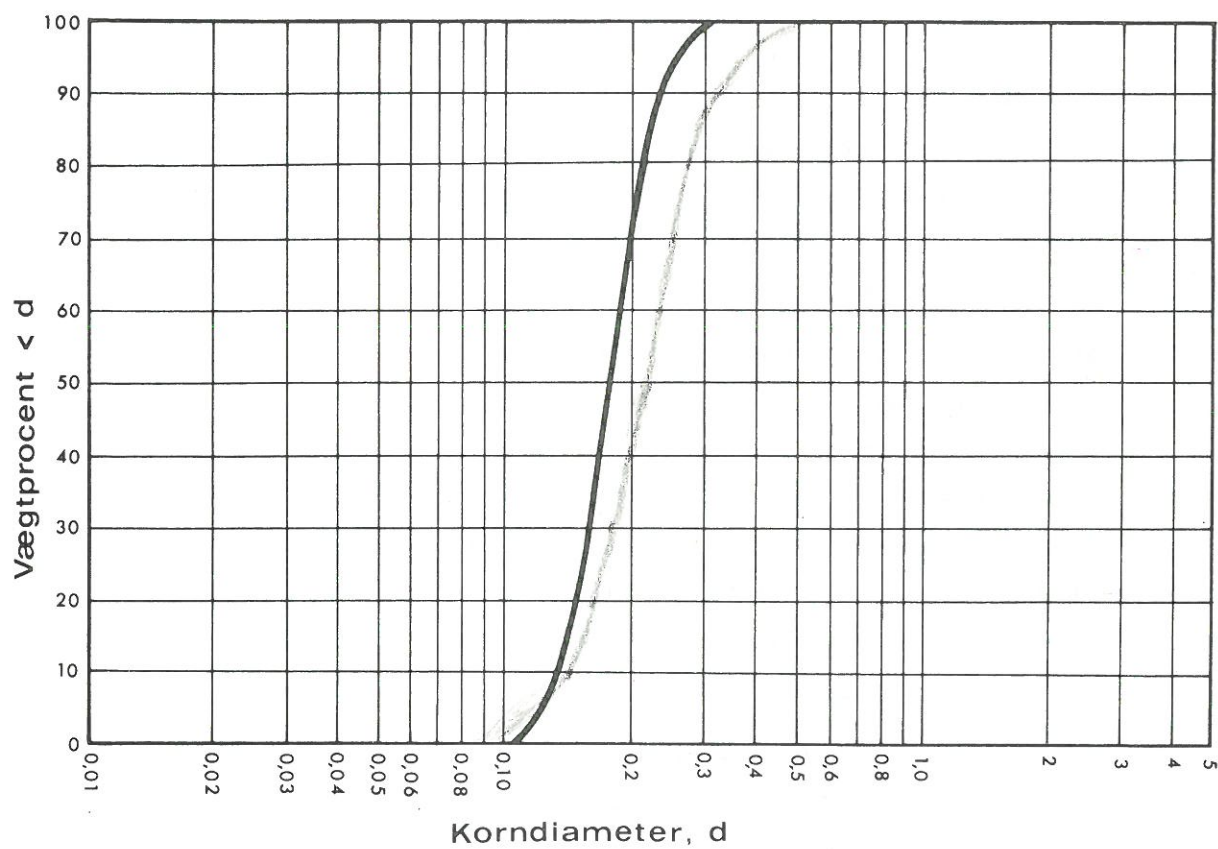
Med denne sandsort er udført en serie elevforsøg som led i den nyindførte laboratoriepraktik for 3. halvårs studerende.

Normalsandet støver væsentlig mindre end blokhussandet, men også denne sandsort betragtes indtil videre kun som en midlertidig løsning.

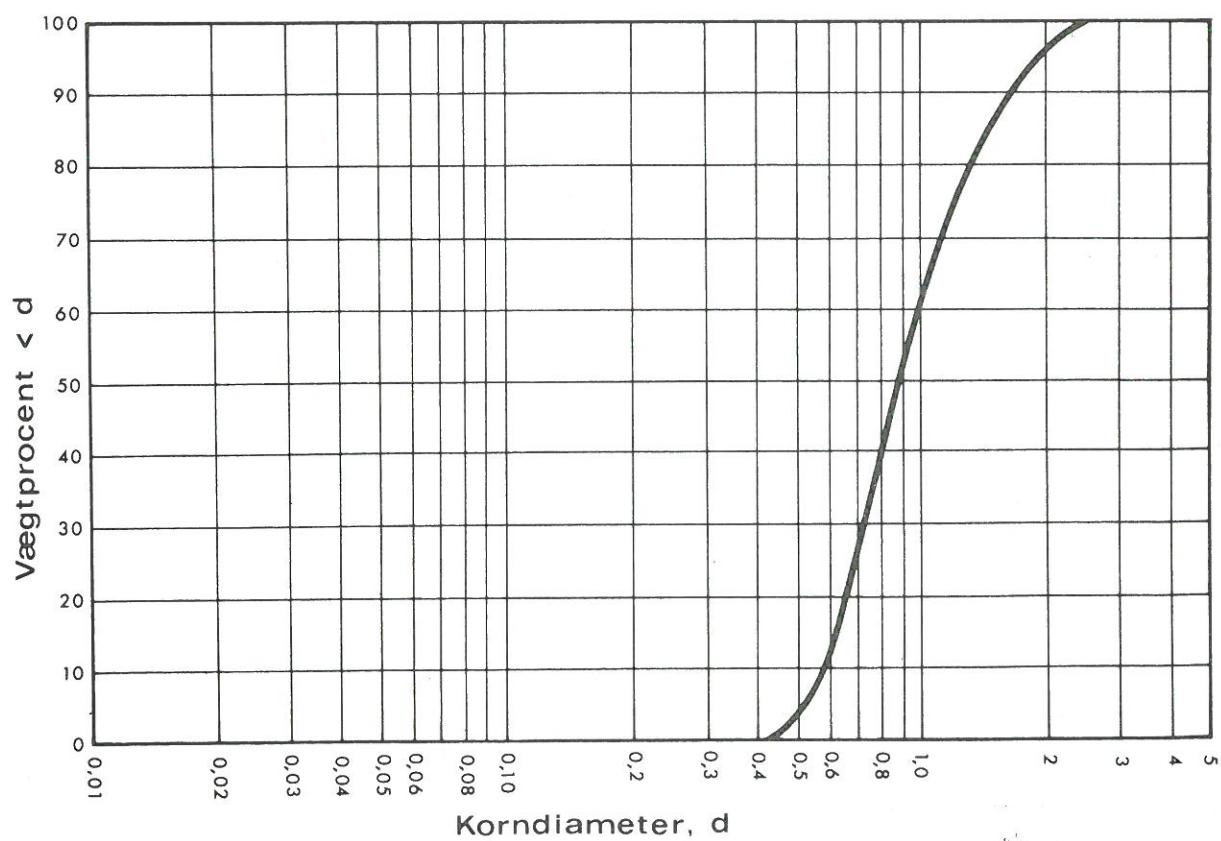
VALG AF LERFYLD

Det er endnu ikke besluttet, hvilken type lerfyld der skal anvendes til forsøg i lergruben. Der er netop udført nogle indledende forsøg med omrørt yoldialer, men nogen konklusion er endnu ikke fremkommet.

Kornkurve for blokhussand



Kornkurve for dansk normalsand no 2



SANDGRUBE

For at undgå eftergivelige vægge under belastningsforsøg med høje trykpåvirkninger er grubeindfatningen udført som en armeret betonkonstruktion med stift sammenhængende bund og sidevægge, hvis tykkelse er 15 cm.

Da der under udgravningsarbejdet forekom en kraftig vandtilstrømning, hvorved der konstateredes et grundvandsspejl beliggende ca. 1,5 m over den dybestliggende grubebund, måtte der både af hensyn til støbearbejdet og til den fremtidige tørholdelse af gruberne, etableres et permanent grundvandssænkingsanlæg. Dette anlæg består af en enkelt pumpebrønd placeret i den dybeste grubedel, hvori er installeret en grundvandspumpe, der automatisk igangsættes, når vandstanden stiger over et vist niveau.

Som yderligere sikring imod gennemtrængning af vand til sandgruben, er denne udvendigt beklædt med en vandtæt membran bestående af 1 lag alu-viladrit, ligesom væggene er bagfyldt med drængrus.

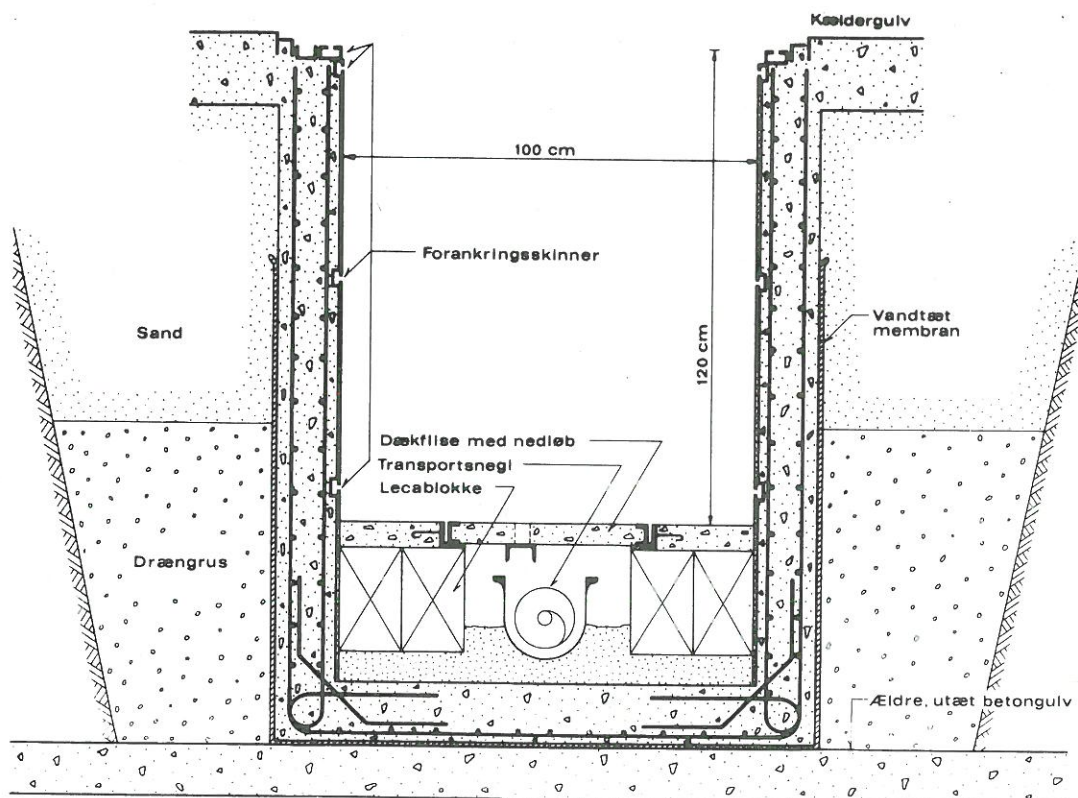
Disse foranstaltninger har i den forløbne periode virket tilfredsstillende, idet der ikke er forekommet fugtighed i sandgruben.

I forsøgsgruberne kan mindre sektioner afgrænses ved hjælp af tværvægge opbygget af specielt fremstillede 12 cm tykke armerede betonelementer. Tværvæggens højde kan varieres med antallet af elementer, idet en væg i fuld grubehøjde er opbygget af 3 elementer. Væggene fastholdes ved hjælp af 4 lodretstillede vinkeljern, der kan fastspændes i vandretløbende forankringsskiner, indstøbt i grubens sidevægge.

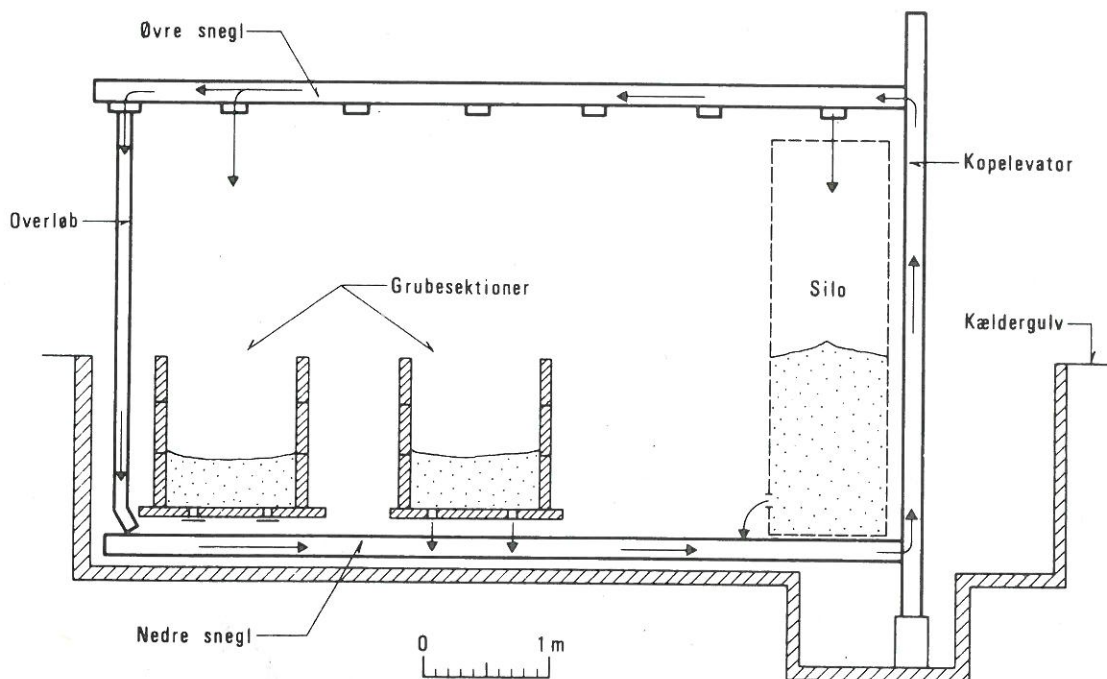
I kældergulvet langs grubens kanter er ligeledes indstøbt forankringsskiner, som er svejset til væggens armeringsjern og beregnet til at kunne optage et træk på 10 t pr. lb. m. Disse skinner anvendes bl.a. til forankring af den modholdskonstruktion, der benyttes ved pladebelastningsforsøg i gruben.

SILO

Sandsiloen er opbygget af 22 mm Bodex-plader afstivet af kraftige trærammer og gennemgående stålbolte. Siloen tilfyldes fra oven, mens udtaget sker gennem et regulerbart skot ved bunden, hvorfra sandet løber ned i en transportsnegl. Øverst i siloen er anbragt en ståltråds-rist, der tilbageholder urenheder i sandet.



Tværsnit i grubekonstruktionen



Længdesnit i sandgruben med principskitse af sandtransport

TRANSPORTANLÆG

Ved udlejring af sand samt ved tømning af gruben besørges sandtransporten af et mekanisk transportanlæg, der er dimensioneret for en kapacitet på 3 tons tørt sand pr. time. Anlægget omfatter følgende elementer:

- 1 kopelevator med kopremskiver 14"/6" og totalhøjde 4,9 m
- 2 transportsnegle - en øvre og en nedre - med diameter 150^Ø mm og truglængde 6,5 m.

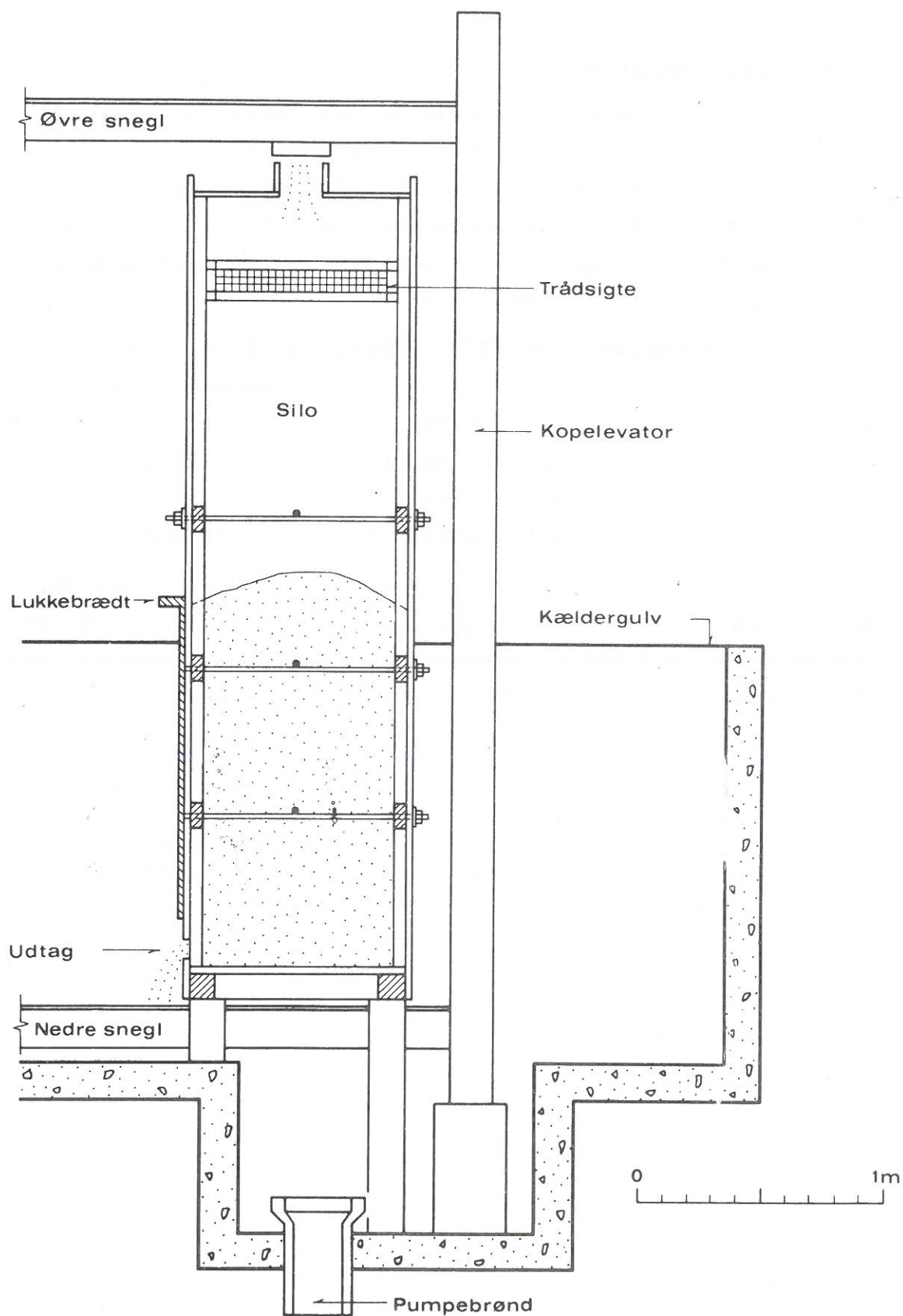
Den øvre snegl, der er ophængt under loftet lodret over sandgruben, fødes fra kopelevatoren. I bunden af truget er placeret 6 udløbsskud, hvorfra sandet kan lukkes ud enten i siloen eller lodret over den grubesektion, hvori sandet skal udlejres. For enden er truget forsynet med et ekstra udløb for overskydende sand, der gennem et nedløbsrør føres til nedre snegl.

Den nedre snegl er installeret i bunden af sandgruben understøttet af sand og overdækket med armerede betonfliser. Dækfliserne er forsynet med gennemløbshuller, der kan åbnes med en håndbetjent mekanisme, når gruben skal tømmes. Den nedre snegl fører sandet tilbage til kopelevatoren, der igen løfter det op til øvre snegl.

Såvel sneglene som kopelevatoren drives af elektromotorer, og betjeningen foregår med trykknapper fra en kontroltavle, der er ophængt på væggen.

Med dette transportanlæg er det muligt at foretage sandudlejringer og grubetømninger inden for relativt korte tidsrum, hvilket der er lagt stor vægt på af hensyn til forsøgsgrubens anvendelse i undervisningen. Idet eleverne kun har forholdsvis korte perioder til rådighed for laboratoriearbejde, er det med henblik på det faglige udbytte væsentligt, at den størst mulige del af deres tid kan anvendes på selve forsøgsudførelsen og i mindre grad på det manuelle arbejde.

Efter den første indkøringsperiode, hvor erfaringer skulle indhentes med hensyn til doseringer og drift, har anlægget fungeret tilfredsstillende bortset fra problemer med rystelser og støj fra den øvre snegl. For at undgå blokering af anlægget, betjenes dette altid under opsyn af laboratoriets laborant.



Arrangement af silo og transportelementer

LUFTTÆT FORSØGSKASSE

I foråret 1971 blev der i forbindelse med forsøgsserier i sandgruben fremstillet en lufttæt forsøgskasse til afprøvelse af et nyt princip. Kassen blev konstrueret specielt til det formål at kunne etablere et poreundertryk i en sandlejring og derved påføre den afrettede sandoverflade en tilsvarende jævnt fordelt overfladebelastning.

Selve kassen er opbygget af 24 mm krydsfinerplader, og sidevæggene er kraftigt afstivede ved hjælp af sammensvejste u-jernsrammer. Den indvendige omkreds er 80·80 cm, og dybden er 45 cm. På den udvendige side er kassen forsynet med en lufttæt membran bestående af påmalet latex-gummi, og til beskyttelse af denne hinde er yderligere pålimet polystyren-plader.

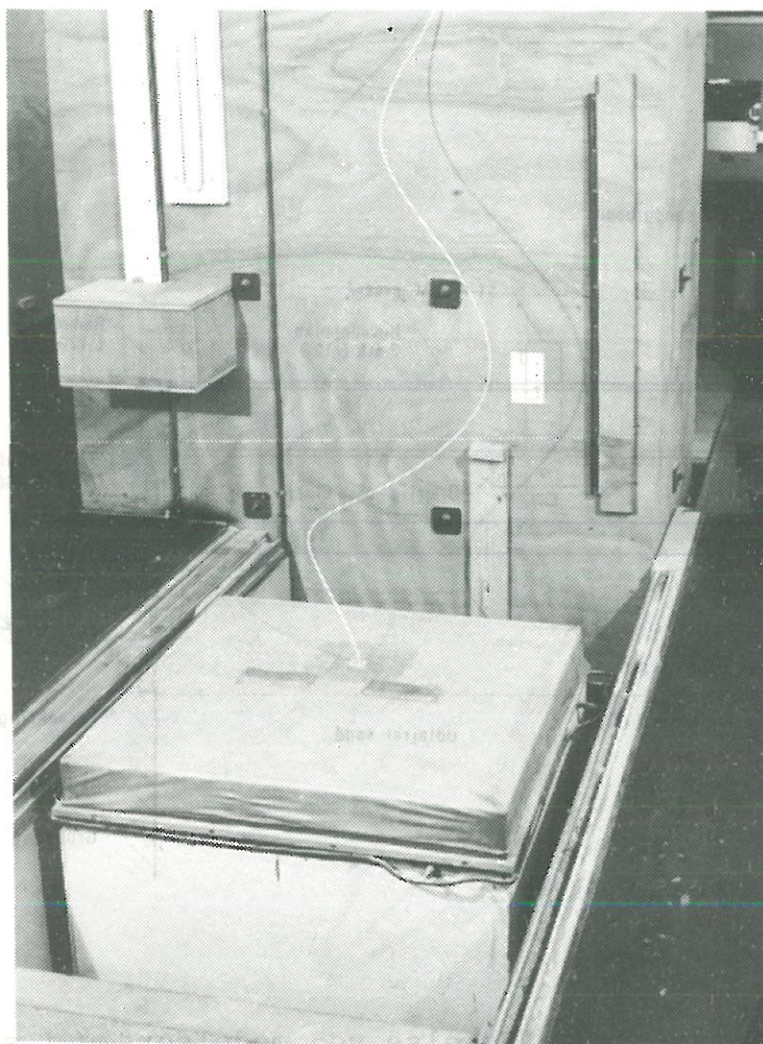
For ligeledes at kunne udnytte transportanlægget i forbindelse med sandudlejring i denne kasse, er den anbragt i sandgruben på bærebjælker, der er forankret i grubens sidevægge i en sådan dybde, at kassens overkant er i niveau med kældergulvet.

Efter at sandet er udlejret i kassen og afrettet til øverste kant, overdækkes sandoverfladen med en tynd gummimembran, der sluttes tæt ned omkring kassens sider.

Herefter etableres undertrykket ved udpumpning af luft fra en stuts anbragt i en af kassens sidevægge.

Denne metode til at påføre en sandlejring en jævnt fordelt overfladebelastning med mulighed for at variere denne har været efterprøvet med held i forbindelse med elevforsøg i løbet af 1971. Efter visse forbedringer af konstruktionen er det opnået at holde konstante undertryk op til 5 t/m².

Hermed har man i laboratoriet fået mulighed for at kunne udføre forsøg af en helt ny type, som ikke tidligere har været forsøgt her i landet.



Forsøgskassen med påsat gummimembran.
Membranen er støbt med lommer for an-
bringelse af 2 stk. modelfundamenter
3,5 x 10,5 cm. Den hvide plasticslange
er forbundet til et manometer, således
at undertrykket måles ved sandoverfla-
den i nærheden af pladerne.

UDLEJRING AF SAND

Under de første forsøgsserier i sandgruben blev selve sandudlejringen udført med en relativ simpel teknik. Udlejningsapparatet bestod af en flexibel PVC-slange, som var koblet til det udløbsskud på den øvre transportsnegl, der befandt sig lodret over gruben. Slangens diameter var 12 cm. Ved slangens udmunding til gruben monteredes en trådsigte til bremsning og fordeling af sandstrålen, således at slangen fungerede som en bevægelig "sandbruser". Trådsigten bestod af 2 lag soldevæv med 1 mm maskevidde.

Under udlejringen førtes "bruseren" med håndkraft frem og tilbage i gruben på regelmæssig måde, mens transportanlægget besørgede sandtilførslen.

Doseringen kunne i nogen grad reguleres ved udløbsskuddet, idet en nogenlunde konstant sandføring i sneglen kunne opnås.

Slangemundings højde over sandoverfladen kunne varieres ved hjælp af et indskudt teleskopled i slangens øvre ende.

Med denne metode kunne en sandlejring af en udstrækning på 1.1.1 m udføres på ca. 2 timer.

Metoden viste sig dog at være for primitiv til at opnå sandlejringer af tilfredsstillende kvalitet. De målte poretal udviste stor spredning ligesom middelporetallet varierede i gentagne lejringer. Vanskelighederne bestod dels i, at faldhøjden ikke var veldefineret, og dels i at udlægningen blev for uregelmæssig.

I et forsøg på at forbedre udlejningsmetoden blev der under de senere forsøgsserier indskudt en 1.1 m fordelingsrist opbygget af 4 lag trådvæv med 2 mm maskevidde. Via PVC-slangen, der stadig førtes med hånden, blev sandet udlagt på risten, der yderligere bremsede og fordelte sandkornene så meget, at faldhøjden kunne defineres som afstanden imellem risten og sandoverfladen. Ved at hæve risten under udlejringen kunne faldhøjden holdes nogenlunde konstant.

Herved opnåedes lidt mere ensartede, omend stadigvæk ikke fuldt tilfredsstillende lejringer.

Afretning af sandoverfladen blev foretaget ved hjælp af en retskehøvel udført af krydsfiner og med påsat stålkant.

PORETALSBESTEMMELSE

Til bestemmelse af lejringernes poretal er anvendt det af N. Krebs-Ovesen udviklede udstyr til poretalsmåling. Princippet er, at der ved hjælp af en støvsuger opsuges en sandprøve inden for en i lejringen nedpresset stålcylander. Sandprøven, hvis rumfang er kendt, opsamles i en cylindrisk beholder og vejes, hvorefter poretallet kan beregnes.

I hver lejring foretages normalt 4 målinger ved overfladen og yderligere 4 målinger i 10 cm's dybde.

Det kan diskuteres, hvorvidt denne måling er tilstrækkelig pålidelig. Dels sker der en forstyrrelse af sandlejringen ved nedpresningen af prøvecylandren, og dels er målingen afhængig af konstant sugeevne. I begyndelsen konstateredes det, at varierende sandmængder blev suget med ind i støvsugerens pose, hvorefter sugekraften blev neddroset med ekstra luftindtag.

Det kan stadig ikke afvises, at måleusikkerheden med dette udstyr er en medvirkende årsag til den spredning, som de målte poretal i sandlejringerne har udvist.

Når det alligevel anvendes, skyldes det, at bedre og lige så simple metoder til bestemmelse af en lejnings poretal endnu ikke er fundet.

FORSØGSTYPER

Sandgrubeanlægget er velegnet til mange forskellige typer af modelforsøg. Eksempelvis kan nævnes bæreevneforsøg med fundamenter, enkeltpæle eller pælegrupper samt stabilitetsforsøg med skråninger eller jordtryksforsøg med støttemure og ankerplader.

Med dette anlæg har faget således fået rige muligheder for at give de studerende varierede og relevante forsøgsopgaver som et væsentligt pædagogisk bidrag til den teoretiske undervisning.

Endnu er forsøgsgruben kun blevet anvendt til bæreevneforsøg med modelfundamenter, men selv inden for denne ene forsøgstype er der store variationsmuligheder med hensyn til størrelse, form, belastningspåførelse og lejringstæthed. I det følgende beskrives den fremgangsmåde, der har været anvendt ved sådanne forsøg.

MODELFUNDAMENTER

Bæreevnepforsøgene udførtes med modelfundamenter, der blev udskåret af 8 eller 16 mm fladjern. Fundamenterne forsynedes på oversiden med en udboring i midten for anbringelse af kugleskål, og på undersiden pålimes et tyndt lag sandkorn for at gøre fundamentfladen ru.

Fundamenternes størrelse og placering på sandlejringens afrettede overflade bestemtes udfra observationer af brudzonernes omfang således, at det tilstræbtes at undgå kantvirkninger og overlappning af brudzoner.

MÅLEINSTRUMENTER

Modelfundamenterne blev belastet ved hjælp af en hydraulisk presse opspændt i den tidligere omtalte belastningskonstruktion.

Den påførte kraft målt i de første forsøgsserier ved hjælp af kraftringe forsynet med strain-gauges, hvis impulser aflæstes på en PEEKEL-indikator. Disse kraftringe, der var udlånt fra DIAB's funderingslaboratorium i København, blev inden forsøgene kalibreret med kendte vægtlodder.

I de senere forsøg benyttedes det kraftrammesystem, som er udviklet specielt til kraftmåling i det danske triaxialapparat, men som også lader sig anvende til det nævnte formål. Kraftrammerne er udskåret af eet stykke metal og har en maximal deformation på 1 mm. Deformationerne registreres på 0,001 mm måleure, der er fastgjort direkte til rammerne. Også disse rammer blev kalibreret med kendte vægte før forsøg.

Til måling af fundamenternes nedsynkning anvendtes 2 stk. 0,01 mm måleure, der ved hjælp af magnetholdere fastgjordes på en uafhængigt opstillet målebro. Nedsynkningen målt i to modsatte yderpunkter på fundamentets overside.

FORSØGSPROCEDURE

Bæreevnepforsøgene udførtes på den måde, at pladerne blev trykket ned i sandet med konstant nedsynkningshastighed. Normalt valgtes en hastighed på 1 mm/minut. Med konstante tidsintervaller aflæstes måleurene, hvorved sammenhørende værdier af nedsynkning og påført kraft registreredes. Disse værdier afsattes i et diagram som punkter på pladernes arbejdskurver. Hvert forsøg fortsattes, indtil så stor en del af arbejdskurven var bestemt, at der var mulighed for at tolke en brudværdi.

ELEVFORSG 1970-71

Kursusarbejder

I den forløbne periode har ialt 5 elevhold, hver bestående af 2 elever, udført forsøgsserier i sandgruben som led i teoretiske kursusarbejder inden for faget.

Samtlige 5 forsøgsserier har omfattet bæreevneforsøg med modelfundamenter på udlejret tørt strandsand fra Blokhus.

Forsøgene indledtes af 2 elevhold fra afgangsklassen i efterårets kursusarbejdsperiode i 1970. Formålet med disse forsøgsserier, der er benævnt 1970.1 og 2, var hovedsageligt at indkøre det nye anlæg. De stillede opgaver bestod i at undersøge bæreevnen for henholdsvis kvadratiske og langstrakte plader anbragt på den vandrette overflade af udlejret tørt sand og belastet lodret og centralt.

Det ene hold anvendte kvadratiske plader med 3 forskellige sidelængder og bestemte derved en værdi for koefficienten $N_Y \cdot s_Y$ i bæreevneformlens γ -led. Herudover udførtes enkelte forsøg med ekscentrisk belastede plader.

Det andet hold bestemte, ved at anvende rektangulære plader med samme bredde, men med 3 forskellige længder, et udtryk for formfaktoren s_Y som funktion af forholdet B/L . Med enkelte plader blev der desuden gjort forsøg med skrå, central belastning.

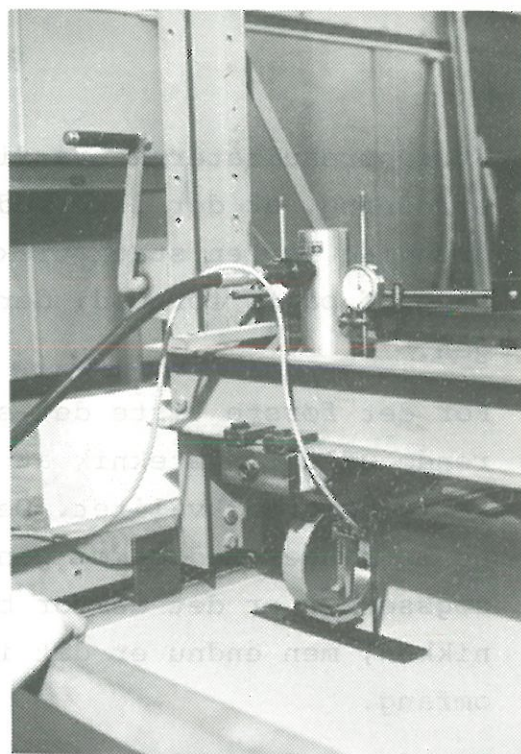
Ved at sammenholde resultaterne fra de to forsøgsserier var det muligt at bestemme en værdi for bæreevnefaktoren N_Y og dermed for sandets plane friktionsvinkel ϕ_{pl} .

I foråret 1971 udførte et elevhold en forsøgsserie (1971.3) med det formål at undersøge lejringstæthedens indflydelse på bæreevnen. Ved at variere dosering og faldhøjde opnåedes sandlejringer med forskellige middelporetal inden for et interval imellem 0,60 og 0,80 og herpå udførtes der bæreevneforsøg med samme pladetyper. Hensigten hermed var at finde frem til en brugbar måde at korrigere tidligere og fremtidige forsøgsresultater på for at henhøre dem til samme poretal.

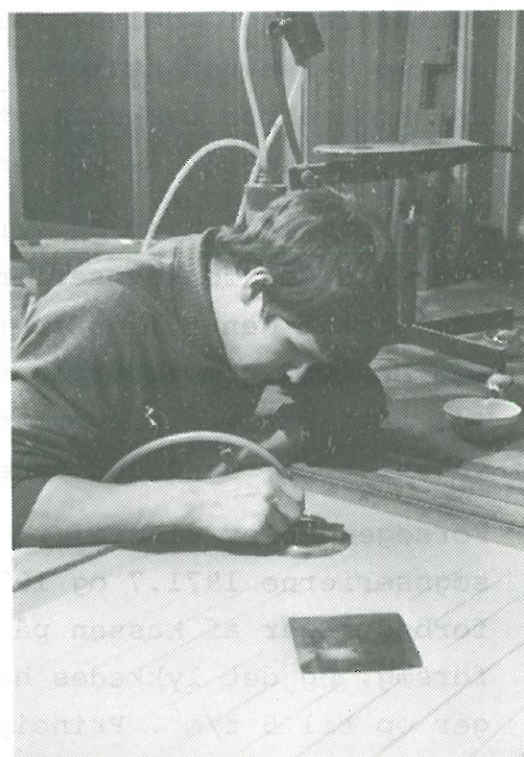
Der blev fundet en sammenhæng imellem de ved forsøgene bestemte friktionsvinkler, ϕ_{pl} , og lejringernes middelporetal e , som var i overensstemmelse med Kerisel's formel. Dette udtryk er sidenhen benyttet ved korrektion af forsøgsresultater for afvigende poretal.



Den første udlejringssteknik



Måleopstilling til pladeforsøg



Bestemmelse af poretal

Forsøgsresultaterne fra disse serier udviste imidlertid så stor spredning, at der ikke med det relativt beskedne materiale var grundlag for en statistisk behandling. Erfaringerne syntes især at pege på to forhold, der havde uheldig indflydelse på spredningen.

For det første viste det sig vanskeligt med den til rådighed værende udlejringsteknik at fremstille sandlejringer af en tilstrækkelig homogen kvalitet. Det var derfor også svært at opnå gentagne lejringer med samme gennemsnitlige poretal. I de senere forsøgsserier er det derfor blevet forsøgt at forbedre udlejringsteknikken, men endnu er det ikke lykkedes i fuldt tilfredsstillende omfang.

For det andet tydede forsøgsresultaterne på, at kohæsion i sandet samt voksende overfladelast hidrørende fra pladernes nedtrykning gav så store bidrag til bæreevnen, at korrektionsleddene for de mindste pladers vedkommende antog værdier, der var lige så store som de korrigerede resultater. Herved blev bæreevnefaktoren N_γ bestemt med en utilfredsstillende stor usikkerhed. Af denne grund opstod ønsket om at kunne udføre bæreevneforsøg af en helt ny type, nemlig med en påført jævnt fordelt belastning på sandoverfladen. Ved at påføre en så stor overfladebelastning, at dennes indflydelse på bæreevnen blev dominerende i forhold til de øvrige faktoreres indflydelse, ville der være mulighed for at kunne bestemme bæreevnefaktoren N_q med større sikkerhed end den, hvormed det hidtil var lykkedes at finde N_γ . Yderligere er N_q også rent teoretisk bedre bestemt end faktoren N_γ .

I foråret 1971 blev de første forsøg af denne type afprøvet af et elevhold med forsøgsserien (1971.1). Forsøgene udførtes på sand udlejret i den til dette formål nykonstruerede, lufttætte kasse med en tynd gummimembran udspændt over sandoverfladen. Der anvendtes rektangulære plader, og ved at pumpe luft ud af kassen med en vacuumpumpe, opnåedes undertryk op til 2 t/m^2 .

Forsøgene blev videreført i efteråret 1971 og foråret 1972 med forsøgsserierne 1971.7 og 1972.2. Herunder blev der foretaget nogle forbedringer af kassen på baggrund af erfaringerne fra de første forsøg, og det lykkedes hermed at kunne påføre overfladebelastninger op til 5 t/m^2 . Princippet viste sig at være brugbart og at give lovende resultater.

Sideløbende med de nævnte forsøgsserier i sandgruben udførte andre elevhold triaxiale CD-forsøg med samme sandsort. Ved disse forsøg, hvortil laboratoriets nyudviklede version af det danske triaxialapparat blev benyttet, tilstræbtes det at udleje sandprøverne med samme poretal, som anvendtes i sandgruben, ligesom forsøgene udførtes med kammertryk svarende til pladeforsøgenes forskellige trykniveauer. Herved var det muligt at sammenligne de plane friktionsvinkler, der bestemtes ved bæreevnforsøgene, med de triaxialt målte friktionsvinkler for sandet.

De hidtil opnåede forsøgsresultater tillægges ikke videnskabelig værdi. Dertil er materialets omfang endnu for lille, ligesom konklusionerne endnu er påvirkede af sandlejringernes mangelfulde kvalitet. Derimod må forsøgene siges at have opfyldt deres egentlige pædagogiske formål, nemlig at uddybe elevernes interesse og forståelse for en del af fagets problemer.

Laboratoriepraktik

Forsøgsgruben benyttedes, foruden til de nævnte forsøgsserier yderligere i efteråret 1971 til elevforsøg i forbindelse med afholdelsen af det første kursus i laboratoriepraktik, der efter den nye studieplan er indført på studiets 3. halvår.

Under dette kursus var eleverne på 7 øvelses-eftermiddage fordelt i de forskellige fags laboratorier, hvor de ved at arbejde med en eller flere opstillinger skulle bibringes et kendskab til forsøgsplanlægning samt behandling og vurdering af forsøgsresultater.

Funderingslaboratoriet kunne i denne forbindelse tilbyde plads til ialt 7 elever, hvoraf et tremandshold arbejdede med bæreevnforsøg i sandgruben. Den stillede opgave var her at tilrettelægge og udføre pladeforsøg, hvis resultater skulle anvendes til bedømmelse af den almindelige bæreevneformels gyldighed.

Af hensyn til elevernes meget begrænsede tid i laboratoriet, blev sandlejringerne udført på forhånd i en 2,5 m lang grubesektion med plads til 6-8 modelfundamenter på overfladen, således at der i løbet af hver øvelses-dag kunne opnås et forsøgsmateriale, der var tilstrækkeligt stort til en statistisk behandling.

Forsøgene i denne serie, der er benævnt 1971.6, blev udført med dansk normalsand no 2 og omfattede kvadratiske og rektangulære plader med lodret, central belastning.

TRIAXIALAPPARAT

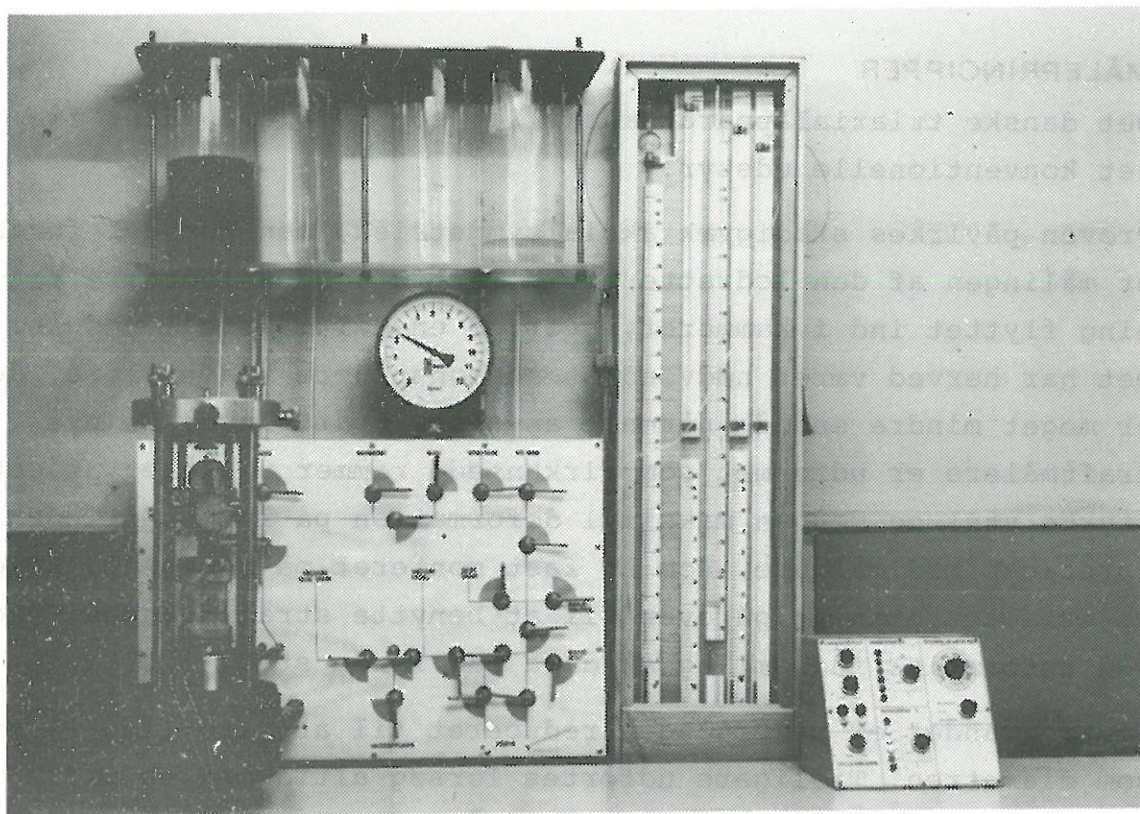
INTRODUKTION

Funderingslaboratoriets triaxialapparat er et "Dansk Triaxialapparat, Type III".

Det danske triaxialapparat er udviklet som led i et forskningsarbejde om "Morænelers deformationsegenskaber" udført ved Danmarks tekniske Højskole og Danmarks Geotekniske Institut af Moust Jacobsen. Grunden til, at der påbegyndtes fremstilling af et nyt dansk apparatur, var den, at de udenlandske triaxialapparater, der var på markedet, kun var beregnet til måling af bløde jordarters styrkeforhold. Disse apparater viste sig at give systematisk forkerte oplysninger om de istidsbelastede danske jordarters styrke- og deformationsegenskaber. Det nye apparatur er derfor konstrueret specielt med henblik på at undgå apparatfejl ved forsøg med sådanne stive jordarter. De to første prototyper af det danske triaxialapparat findes på Geoteknisk Institut i København.

Med det nye triaxialapparat, der er opbygget i DIAB's funderingslaboratorium i Aalborg i perioden 1970-71, er der foretaget en videreudvikling og forbedring på en lang række væsentlige punkter, således at det nu fremtræder som et færdigudviklet og brugbart apparatur. Dette udstyr, der har fået betegnelsen "Dansk Triaxialapparat, Type III", bygger på præcis de samme måleprincipper som de tidligere udgaver, men er i sin opbygning udformet mere enkelt og overskueligt med henblik på at lette betjeningen og derved gøre det mere velegnet til undervisningsbrug.

Af hensyn til overskueligheden er apparatet opbygget af så få sektioner som muligt, og alle betjeningsgreb er samlet på to oversigtstavler. De hydrauliske funktioner betjenes ved hjælp af haner, der alle er samlet på en ventiltavle med optegnet kredsløb, og de elektrisk styrede dele betjenes fra en enkelt kontrolpult. Herved er det tilstræbt at gøre indlærings- og tilvænningsperioden så kort som mulig, således at den studerende har mulighed for at få et fagligt udbytte af de forsøgsresultater, han har opnået.



I forbindelse med triaxialudstyret er endvidere udviklet og fremstillet hjælpeapparater til brug for tildannelse og indsætning af såvel lerprøver som sandprøver. Desuden er til stabilisering af kammertrykket i cellen konstrueret en manostat af Bishoptypen.

Konstruktionstegningerne er udfærdiget i samarbejde med DIA-Aalborg's maskinafdeling. Den elektriske kontrolpult er konstrueret i samarbejde med faget El-konstruktioner ved bygningsafdelingen. De øvrige enkeltdele, der omfatter et manometer-skab, en beholdersektion, oversigtstavler samt diverse rørforbindelser er fremstillet i laboratoriet af fagets egne medarbejdere.

Ovenstående fotografi viser den samlede apparatopstilling.

MÅLEPRINCIPPER

Det danske triaxialapparat adskiller sig på flere måder fra det konventionelle udstyr.

Prøven påvirkes stadigvæk aksialsymmetrisk, men for det første er målingen af den lodrette stempelkraft og den lodrette tøjning flyttet ind i kammeret, hvorved en del målefejl undgås. Det har herved været nødvendigt at konstruere kraftmålere, der er meget mindre end de normalt anvendte kraftringe. De nye kraftmålere er udformet som firkantede rammer udskåret af eet stykke stål og med en maksimal deformation på 1 mm. Målingen foretages med måleure, som er fast monteret på rammerne. Senere er det tanken at gå over til at benytte strain-gauges, hvorved autoamtisk indsamling af data kan finde sted.

For det andet er prøvehøjden reduceret til at være lige så stor som diametren. Tidligere udførtes forsøg altid med en prøvehøjde, der var dobbelt så stor som diametren. I disse prøver dannes en skrå brudflade, som deler prøvelegemet i to halvdele, der ikke kommer i brud. Brudfladens volumenændringer er altafgørende for bedømmelsen af jordens styrke, men man kender her kun gennemsnitsværdien. For udrænet brud i moræneler var dette forhold årsagen til, at man førhen målte forskydningsstyrker, der kun androg 15-60 pct. af de korrekte værdier.

Men udviklingen af glatte trykhoveder har vist, at prøvehøjden kan reduceres. Man opnår herved at fremtvinge en ensformig brudtilstand i prøven, således at den gennemsnitsmåling, man foretager, er repræsentativ for ethvert lille element i prøven. På denne måde måles de korrekte værdier af forskydningsstyrken.

For det tredje er det lodrette stempel flyttet ned i bunden af cellen og gjort kraftigere, således at enhver prøve kan føres til brud med et kammertryk op til 12 atm. Det vil i praksis sige, at maksimalpåvirkningen på stemplet er over 2000 kg. Stemplet presser i denne udgave prøven op mod trykpladen, hvorpå kraftrammen er monteret. Der er i toppladen indbygget en koordinatbevæger, hvormed kraftrammen kan centreres perfekt

over prøven, hvilket er af afgørende betydning for at kunne gennemføre et forsøg, når der anvendes glatte trykhoveder. Stemplet drives af en tyristorstyret elektromotor, og bevægelsen kan varieres trinløst fra 0-20 mm i timen med fornøden nøjagtighed.

Af hensyn til de indbyggede måleure må den øverste halvdel af kammeret tilfyldes med olie, medens den nederste halvdel fyldes med destilleret vand for at undgå beskadigelse af den diffusionstøtte gummimembran, der omslutter prøven.

MANUAL

Af hensyn til de studerendes anvendelse af triaxialapparatet har faget udfærdiget en manual, der dels indeholder en nærmere beskrivelse af hver enkelt konstruktionsdel, og som dels udgør en decideret brugsanvisning. I manualen gives således en detailleret beskrivelse af de forsøgsprocedurer, der knytter sig til de forskellige relevante forsøgstyper.

Eventuelle interesserede, der søger en mere fyldestgørende beskrivelse af laboratoriets triaxialapparat, henvises hertil.

ELEVFORSG 1970-71

Kursusarbejder

Triaxialapparatet har i den forløbne periode været anvendt af 2 elevhold, hver bestående af 2 elever, til forsøg i forbindelse med teoretiske kursusarbejder i fundering.

Begge forsøgsserier har omfattet drænedes brudforsøg med $7\phi.7$ cm vandmættede sandprøver.

Den første forsøgsserie med det nyopstillede apparat blev udført i foråret 1971 og er benævnt 1971.2. Hovedformålet med denne serie var at indkøre og gennemprøve det nye apparat og derudover at foretage målinger til bestemmelse af styrkeegenskaberne for laboratoriets forsøgssand. Som beskrevet tidligere i rapporten bestod forsøgssandet af tørt strandsand fra Blokhush. På udlejninger af dette sand blev der i samme periode af andre elevhold udført bæreevnepforsøg i laboratoriets sandgrube. For at kunne foretage en sammenligning af forsøgresultaterne fra de to forsøgstyper blev det i denne serie tilstræbt at tildanne sandprøverne med samme poretal som det, hvormed sandet blev udlejret i gruben. Desuden blev prøverne ført til brud ved kammertryk, der nogenlunde svarede til brudspændingerne ved pladeforsøgene. Der opnåedes ialt 5 vellykkede forsøg med kammertryk, der varierede fra $0,5-10 \text{ t/m}^2$. Sandprøverne blev udlejret og indesluttet i en gummimembran ved hjælp af den nykonstruerede sandform og derefter holdt sammen af et lille undertryk under indsætningen i triaxialcellen.

I efteråret 1971 udførtes forsøgsserien 1971.8, som var en naturlig fortsættelse af den første serie. Da man samtidig i sandgruben var begyndt at udføre pladeforsøg med belastet sandoverflade, hvorved pladerne blev ført til brud ved væsentligt forøgede spændingsniveauer, blev det ligeledes i denne serie tilstræbt at føre sandprøverne til brud ved tilsvarende højere kammertryk. Der opnåedes ialt 4 forsøg med kammertryk varierende fra $10-50 \text{ t/m}^2$. Udfra erfaringerne med de første forsøg blev enkelte procedurer ændret og forbedret. Bl.a. ændredes fremgangsmåden til vandmætning af prøven, ligesom volumenændringsmålingen blev forbedret.

På grund af den store forsøgsusikkerhed, der har præget de hidtil udførte bæreevnepforsøg i sandgruben, har det endnu ikke været muligt at foretage en reel sammenligning af forsøgsresultaterne fra de to forsøgstyper med samme sandsort.

En af laboratoriets kommende opgaver vil derfor være igennem en forbedret forsøgsteknik at nedbringe denne forsøgsusikkerhed så meget, at der kan drages en konklusion af en sådan sammenligning.

Laboratoriepraktik

Triaxialapparatet er i efteråret 1971 yderligere benyttet til forsøg udført af studerende på 3. halvår i forbindelse med kurset i laboratoriepraktik efter den nye studieplan.

Apparatet benyttedes af 2 elevhold, der havde henholdsvis 3 og 4 eftermiddage á 4 timer til deres rådighed.

Af hensyn til den begrænsede tid var en del af forsøgsarbejdet udført på forhånd af fagets medarbejdere. Jordprøverne var således tildannet og indsat i cellen samt færdigkonsolideret for det aktuelle kammertryk, således at elevernes opgave udelukkende bestod i at føre prøverne til brud og derefter færdigbehandle de observerede måleresultater.

Det var oprindelig meningen, at disse forsøg skulle udføres som udrænede forsøg med prøver af yoldialer, der var optaget som intakte klumpprøver i en dybde fra 20-50 cm under terræn på Nørre Uttrup teglværks marker, hvor yoldialeret kun dækkes af et tyndt muldlag. Da det imidlertid viste sig, at konsolideringsfasen med dette ler var for tidkrævende, blev forsøgene i stedet gennemført som drænede forsøg med mattede prøver af blokhussand.

KONSOLIDERINGSAPPARAT

INTRODUKTION

Laboratoriets opstilling til udførelse af konsolideringsforsøg er opbygget i begyndelsen af 1971.

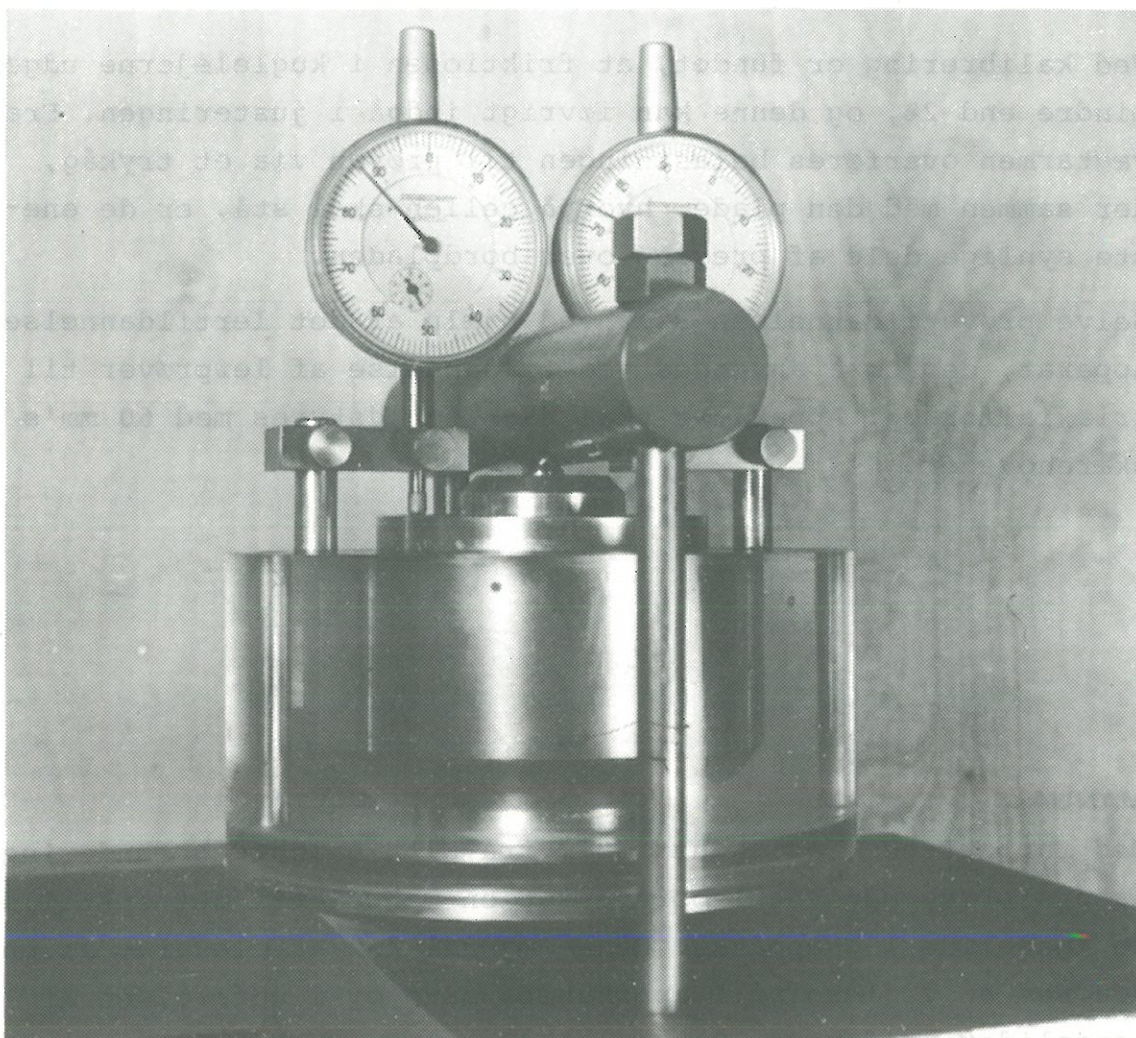
Opstillingen omfatter et konsolideringsapparat samt en tilhørende vægtarmspresse, der er monteret på et laboratoriebord.

Det danske konsolideringsapparat er ligesom det danske triaxialapparat udviklet i forbindelse med det tidligere omtalte forskningsarbejde om "Morænelers deformationsegenskaber" udført ved Dth og DGI.

I lighed med de måleproblemer, der her konstateredes ved brudforsøg med de konventionelle triaxialapparater, viste det sig, at også de hidtil fremstillede konsolideringsapparater var uegnede til måling af stive jordarters sammentrykning. Hovedfejlen var, at disse apparaters egendeformationer gav bidrag til målingen af samme størrelsesorden som jordprøvens.

Det danske konsolideringsapparat adskiller sig derfor fra andre apparater ved at være en betydeligt stivere konstruktion, men er iøvrigt i princippet et konventionelt apparat med dets fordele og mangler:

Apparatet er billigt og let at betjene; til gengæld udgør apparatfriktion en væsentlig fejlkilde.



SPECIFIKATIONER

Ved kalibreringer har det vist sig, at det danske konsolideringsapparats egendeformationer er mindre end 0,001 mm for en belastningsvariation fra 0-120 t/m².

Prøvestørrelsen er 30·60^Ømm, der må betragtes som en minimumstørrelse for morænelersprøver, som jo indeholder en del småsten.

Vægtarmspressen kan maksimalt påføre prøven et tryk på 2 tons, svarende til ca. 700 t/m². Belastningen påføres med lodvægte og overføres til vægtstangen gennem knive. Vægtstangen er iøvrigt ophængt i kuglelejer og har et justerbart udvekslingsforhold på 1:10.

Ved kalibrering er fundet, at friktionen i kuglelejerne udgør mindre end 2%, og denne kan iøvrigt indgå i justeringen. Fra vægtarmen overføres belastningen til prøven via et trykåg, der sammen med den plade, hvorpå cellen skal stå, er de eneste synlige dele af pressen over bordpladen.

Selve prøvetildannelsen sker ved hjælp af det lertildannelsesapparat, der også anvendes ved tildannelse af lerprøver til triaxialforsøg. Apparatet skal da blot udstyres med 60 mm's skærehoveder.

MANUAL

Med rapport no 4 af august 1972 fra DIAB-Aalborg's funderingslaboratorium udgiver laboratoriet en manual til det opstillede konsolideringsapparat. Denne manual kan af eleverne anvendes som en vejledning i apparatets brug og i udførelsen af konsolideringsforsøg. Der er således her givet en mere detailleret beskrivelse af apparatets udformning og virkemåde samt af de forsøgsprocedurer, der skal følges under forsøget.

Vedrørende disse beskrivelser henvises interesserede læsere derfor til denne rapport.

ELEVFORSG 1971

Kursusarbejder

Konsolideringsapparatet har endnu ikke været anvendt til forsøg i forbindelse med teoretiske kursusarbejder.

Laboratoriepraktik

I efteråret 1971 anvendtes konsolideringsapparatet første gang til elevforsøg. Forsøgene udførtes af 3. halvårs studerende i forbindelse med laboratoriepraktik, der som tidligere nævnt er indføjet i den nye studieplan. Eleverne arbejdede i to hold, der havde henholdsvis 3 og 4 eftermiddage á 4 timer til rådighed i laboratoriet.

Begge hold udførte konsolideringsforsøg med prøver af yoldialer, der var optaget som intakte klumpprøver fra ca. 0,5 meters dybde i Nørre Uttrup, hvor yoldialeret træffes direkte under muldlaget.

Af hensyn til elevernes begrænsede tid var de enkelte eftermiddages forsøg påbegyndt fra laboratoriets side. Prøverne var tildannet og indsat i konsolideringsapparatet, og de første belastningstrin var påført. Elevernes opgaver bestod således i at fuldføre forsøgene, og herunder optegne tidskurverne for de enkelte belastningstrin. Udfra de observerede målinger skulle eleverne bestemme, hvor stor en forbelastning yoldialeret havde haft samt udregne størrelsesordenen af permeabilitetskoefficienten (vinkelret på de siltstriber, der forefandtes i prøven). Herudover nåede eleverne at bestemme en aflastnings- og en genbelastningsgren.

De nævnte forsøg er den første begyndelse på en påtænkt nærmere undersøgelse af det specielt i Nordjylland almindeligt forekommende yoldialers styrke- og deformationsegenskaber.

DEMONSTRATIONSMODELLER

INTRODUKTION

En af laboratoriets vigtige opgaver har været at arrangere og udvikle demonstrationsmodeller, der kunne anvendes i den almindelige klasseundervisning til illustration af forskellige geotekniske problemer.

Som basis for sådanne modeller startede man med at fremstille en åben kasse af gennemsigtige plexiglasplader. Kassen, der er 25 cm høj, 40 cm lang og 15 cm bred, er fast monteret på en kraftig træplade, hvorpå også forsøgsstativer kan anbringes. Dimensionerne er valgt under hensyn til, at modellen skal være så let og transportabel, at den efter klargørelse i laboratoriet bekvemt kan bæres op i klassen og anbringes på et bord. Den gennemsigtige kasse giver mulighed for at kunne se modellen fra alle sider rundt om bordet, hvorved alle elever kan følge demonstrationen samtidigt. Denne kasse har været benyttet ved demonstrationer af plane problemer såsom løftning i byggegrube, brud i spunsvægge og skred i jordskrånninger.

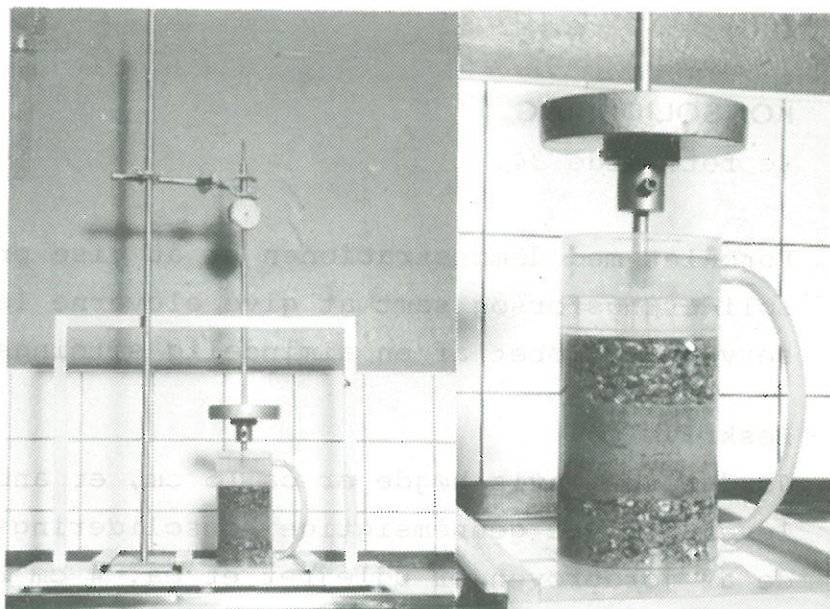
Foruden den nævnte kasse blev der specielt til demonstration af konsolideringsforsøg fremstillet et gennemsigtigt konsolideringsapparat i plexiglas til 9 cm^Ø prøver. Konsolideringsringen, der er lukket forneden med en pålimet plade samt forsynet med to stutse - en foroven og en forneden - er ligeledes monteret på en træplade, hvorpå hele opstillingen samles.

Gennem udviklingen af de enkelte demonstrationsforsøg har det, foruden at opbygge brugbare modeller, været tilstræbt at gøre forsøgenes varighed så kort, at de kunne gennemføres inden for en begrænset del af en undervisningstime.

På de følgende sider gives en nærmere beskrivelse af de enkelte demonstrationer, ligesom disse er illustreret ved fotos.

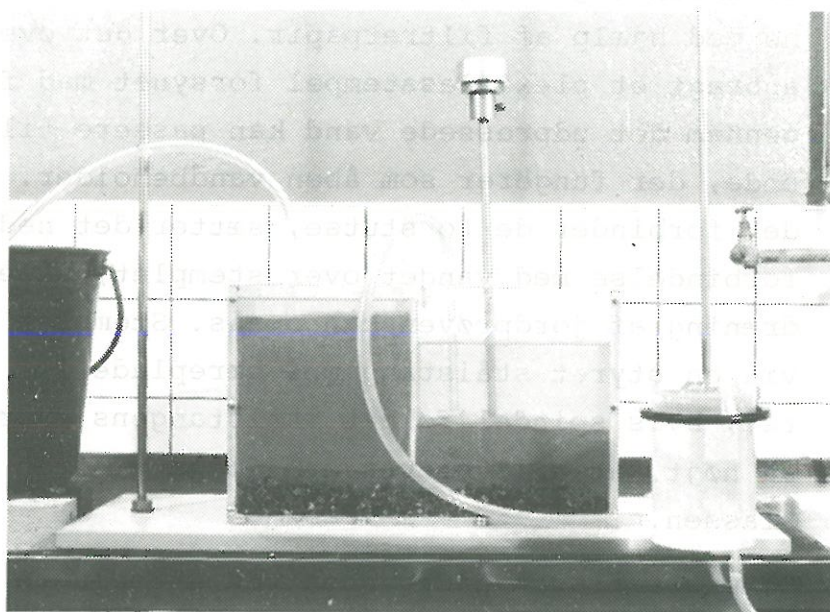
KONSOLIDERING

Model af konsolideringsapparat med
indsat lerprøve

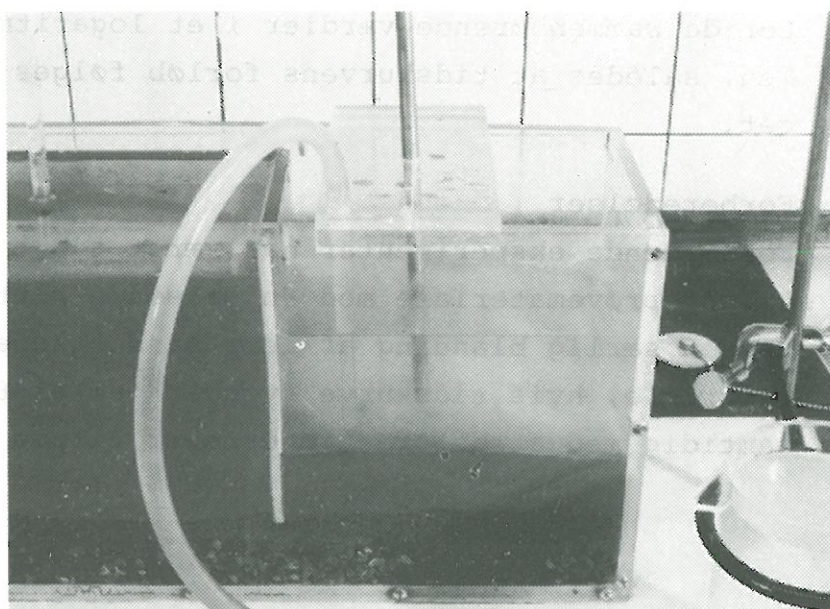


STRØMNING I JORD

Model af byggegrube
med lodret vandtil-
strømning



Erosion ved bygge-
grubens bund som
følge af kritisk
gradient
(Bundens konturer
er slørede)



KONSOLIDERING

Se foto side 34.

Formålet med demonstrationen er at vise princippet i et konsolideringsforsøg samt at give eleverne lejlighed til at observere forløbet af en almindelig sætnings-tidskurve.

Beskrivelse

Jordprøven, hvis højde er ca. 5 cm, er anbragt synlig for eleverne i det gennemsigtige konsolideringsapparat. På hver side af jordprøven er udlejret et ca. 4 cm tykt drænlag, hvortil der, for at tydeliggøre dette lags store permeabilitet, er anvendt groft grus. Prøven holdes adskilt fra filterlagene ved hjælp af filtrerpapir. Over det øverste filterlag er anbragt et plexiglasstempel forsynet med fine huller, hvorigennem det udpressede vand kan passere til apparatets øverste ende, der fungerer som åben vandbeholder. En plasticslange, der forbinder de to stutse, sætter det nederste filterlag i forbindelse med vandet over stemplet, således at dobbeltsidig dræning af jordprøven kan opnås. Stemplet belastes centralt via en styret stålstang med bæreplade for vægtlodder. Måleuret, hvis spindel følger stålstangens øverste ende, er anbragt så højt, at alle elever kan følge viseren fra deres pladser i klassen.

Demonstrationen påbegyndes ved at belaste stemplet med 8 kg, samtidig med at et stopur sættes igang. Eleverne aflæser måleuret efter 15 sek, 30 sek, 1 min, 2 min o.s.v. samt afsætter de sammenhørende værdier i et logaritmisk diagram på tavlen, således at tidskurvens forløb følges samtidig med forsøget.

Forberedelser

Forudgående eksperimenter har været gjort for at finde frem til et prøvemateriale med en passende kort konsolideringstid. Med en særlig blanding af ler, sand og spagnum er opnået et materiale, hvis tidskurve "vender" efter 8-10 min's forløb, samtidig med at deformationerne er tilpas store.

STRØMNING I JORD

Se fotos side 34.

Formålet med modellen er at demonstrere bæreevnesvigt og erosion i bunden af en byggegrube som følge af lodret opadrettet strømning.

Beskrivelse

I den omtalte plexiglaskasse er opbygget en model af en byggegrube i sand, således at man igennem kassens sidevægge betragter et lodret snit igennem den symmetriske halvdel af gruben og jordlagene under bunden. Medens den ene endevæg danner symmetrilinie, begrænses gruben til den anden side af en tætsluttende, lodret plexiglasplade anbragt midt i kassen. I bunden af kassen er udlejret et "vandførende" lag af groft grus, hvorfra der kan foregå en lodret parallelstrømning til byggegruben. Ved hjælp af en hævertledning er dette lag sat i forbindelse med en spand med vand, der skal gøre det ud for en nærliggende "sø".

Ved demonstrationens begyndelse er gruben fyldt med vand og "søens" vandspejl placeret i niveau hermed. På bunden af gruben er anbragt et lille modelfundament, der belastes med 500 g. Gruben lænses nu for vand ved hjælp af en hævertledning, og når vandspejlet er sænket et vist stykke, kan den reducerede bæreevne observeres ved, at fundamentet pludseligt synker ned i sandbunden. Ved yderligere lænsning optræder erosion, idet de øverste sandkorn slynges opad af vandstrømmen.

Forberedelser

Ved gennemprøvninger af modellen er fundet frem til de anvendte materialer og lagtykkelser. Det er valgt at lade strømmingen foregå i sand for at opnå stationære forhold umiddelbart efter vandspejlsændring. Imellem sandlaget, der under gruben er 5 cm tykt, og det grove gruslag er udlejret et tyndt filterlag af fint grus. Ved at foretage udlejringen af grus og sand under vanddække undgår man, at lagene indeholder luftbobler, der komplicerer strømningsforholdene.

STABILITET AF SKRÅNING

Se foto side 38.

Formålet med modellen er at demonstrere et plant stabilitetsbrud i en sandskråning for derefter at sammenligne brudliniens beliggenhed og form med den i forvejen beregnede kritiske brudlinie.

Beskrivelse

I plexiglaskassen er opbygget en model af en sandskråning, således at man igennem kassens sidevægge betragter et lodret snit igennem skråningen.

Hældningsvinklen er 45° , og den lodrette afstand imellem skråningens top og bund er 15 cm. Umiddelbart bag toppunktet er placeret et 5 cm bredt stribefundament, der belastes lodret og centralt med 800 g/cm.

Modellen, der er opbygget under dække af vand, som derefter lænses bort, er udformet således, at den kun er stabil, så længe der hersker kapillarspændinger i sandet.

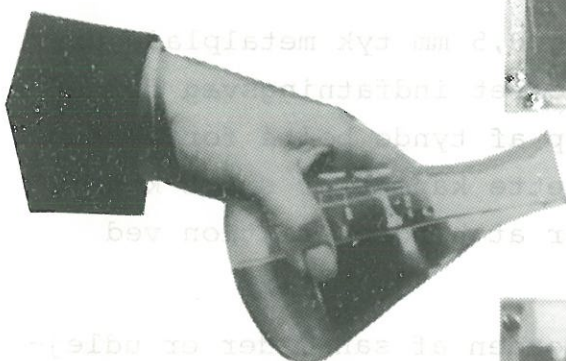
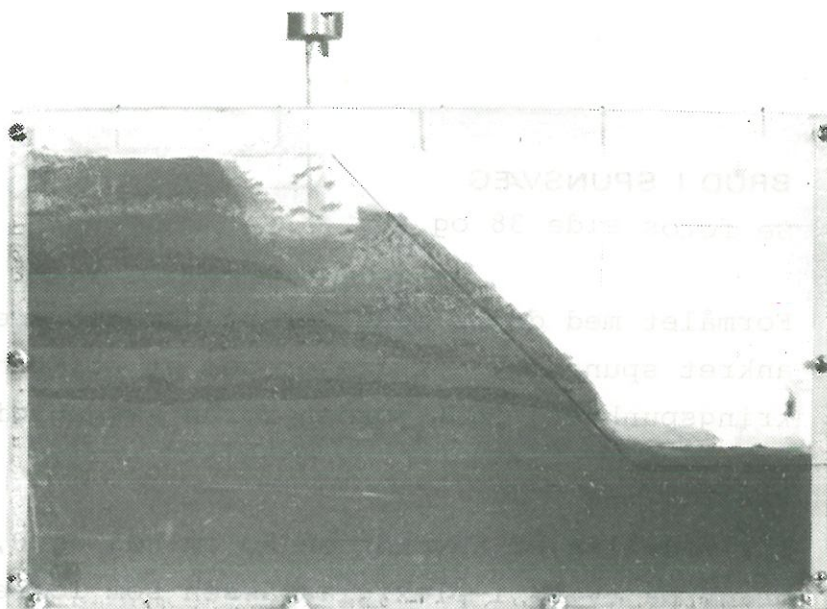
Ved demonstrationens begyndelse lægges belastningen på fundamentet. Derefter iværksættes bruddet ved at hælde en lille smule vand ud over sandoverfladen bag fundamentet, hvorved kapillarspændingerne ophæves. Til tydelig markering af brudlinien og den bevægelige jordmasse er der i skråningen indlejret tynde vandrette striber af farvet sand, ligesom den oprindelige skråningslinie er trukket op med sort streg udvendig på kassens sidevægge.

Forberedelser

Før demonstrationen udføres, får eleverne udleveret et optegnet snit af skråningen i målestok 1:1 samt en logaritmisk spiral med stigningsvinkel lig sandets plane friktionsvinkel, der er bestemt i laboratoriet bl.a. udfra bæreevnepforsøg med modelfundamenter. Idet eleverne inddeles i grupper, der hver beregner stabilitetsforholdet for een bestemt placering af polen, indkredses beliggenheden af den kritiske brudlinie, hvorefter denne kan observeres i demonstrationsmodellen.

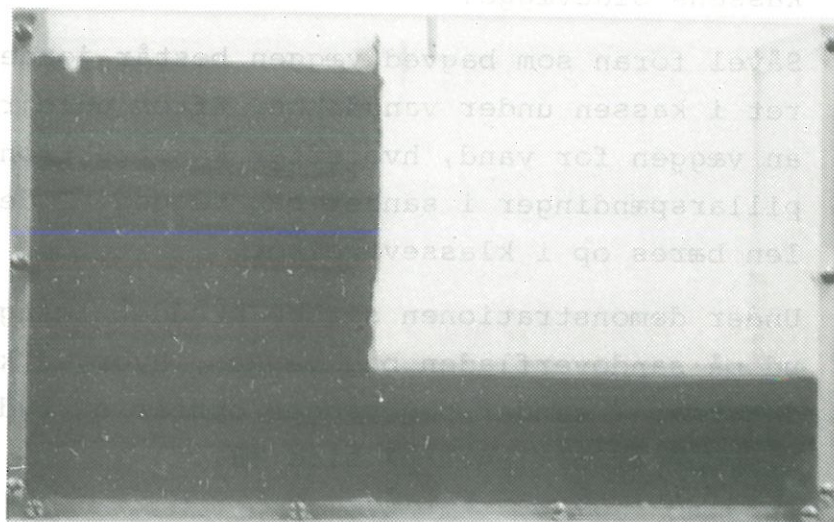
STABILITET AF SKRÅNING

Model af sandskrå-
ning efter at brud
er indtruffet

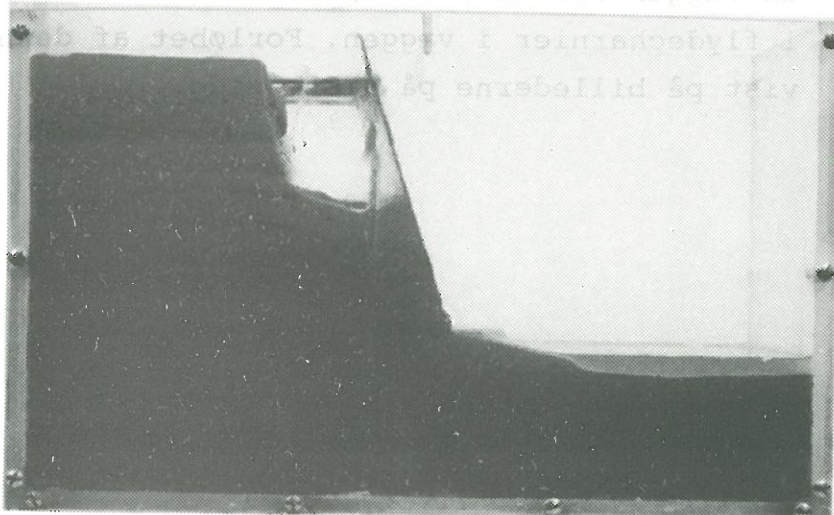


BRUD I SPUNSVÆG

Model af byggegru-
beindfatning ved
demonstrationens
begyndelse
(stiv væg)



Samme model efter
at brud er indtruf-
fet
(stiv væg)



BRUD I SPUNSVÆG

Se fotos side 38 og 40.

Formålet med denne model er at demonstrere brudmåden af en forankret spunsveg, der drejer som et stift hele omkring forankringspunktet, idet jorden foran væggen giver efter.

Beskrivelse

Til modellen er anvendt en 20 cm høj og 0,5 mm tyk metalplade anbragt på tværs i plexiglaskassen som lodret indfatningsveg for en byggegrube. Pladen er foroven ved hjælp af tynde bolte forankret til kassens ene endevæg, og på de lodrette kanter er smurt konsistensfedt dels for at tætnes og dels for at hindre friktion ved kassens sidevægge.

Såvel foran som bagved væggen består jorden af sand, der er udlejret i kassen under vanddække. Efter udlejringen tømmes gruben foran væggen for vand, hvorefter konstruktionen holdes intakt af kapillarspændinger i sandet bag væggen. I denne tilstand kan modellen bæres op i klasseværelset.

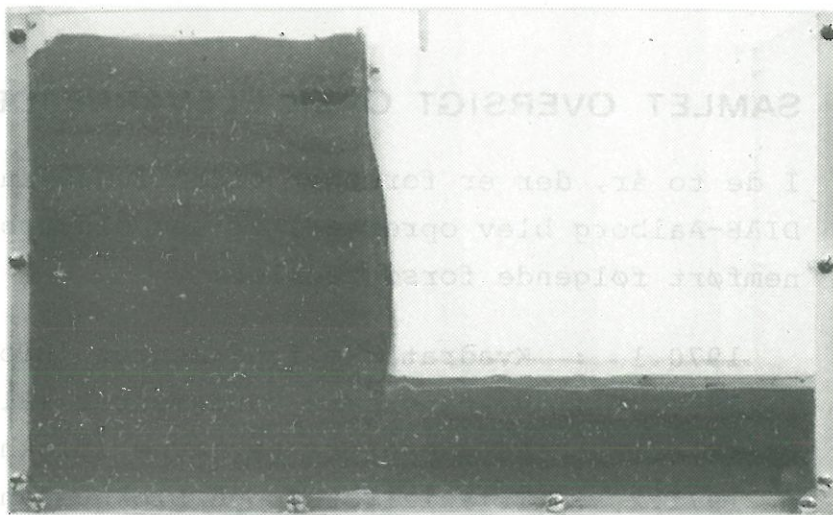
Under demonstrationen sættes bruddet igang ved at hælde lidt vand ud på sandoverfladen bag væggen, hvorved kapillarspændingerne fjernes. I sandet bag væggen opstår et tydeligt A-brud, som det fremgår af billedet på side 38.

Brud med flydecharnier

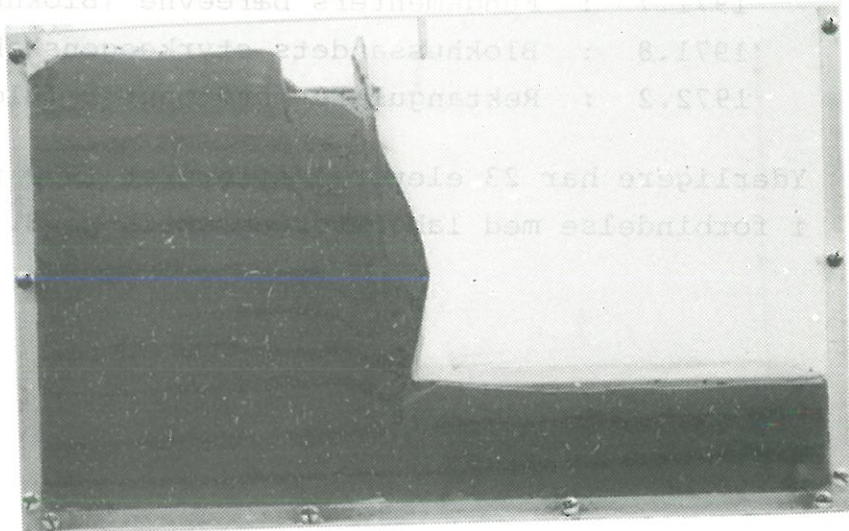
Hvis den stive plade i ovennævnte model erstattes af en 0,1 mm tyk profileret plade samtidig med, at den passive zone foran væggen forøges, forløber bruddet under tydelig dannelse af 1 flydecharnier i væggen. Forløbet af denne demonstration er vist på billederne på næste side.

BRUD I SPUNSVÆG

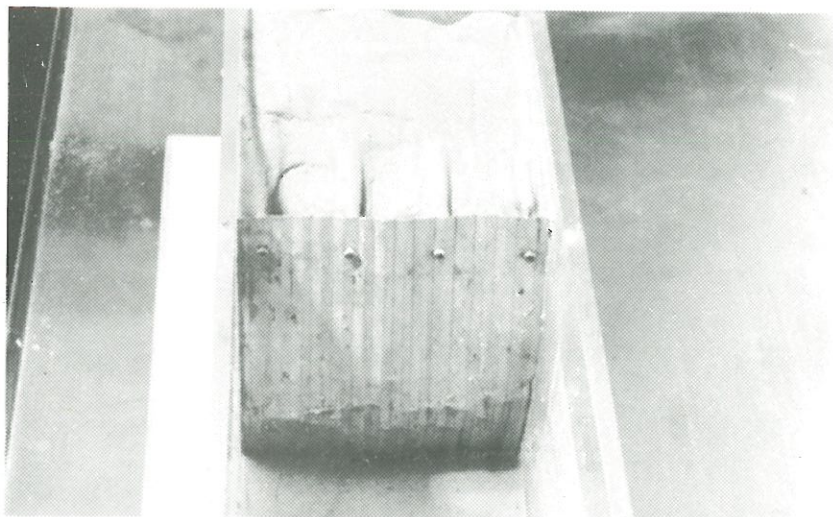
Begyndende dannelse
af flydecharnier i
væggen
(tynd, profileret
væg)



Samme model efter
fuldt udviklet
brud
(tynd, profileret
væg)



Samme model. Væg-
gen set forfra ef-
ter fuldt udviklet
brud
(tynd, profileret
væg)



SAMLET OVERSIGT OVER ELEVARBEJDER 1970-72

I de to år, der er forløbet siden funderingslaboratoriet ved DIAB-Aalborg blev oprettet, er som elevarbejder blevet gennemført følgende forsøgsserier:

- 1970.1 : Kvadratiske fundamenter (Blokhus sand)
- 1970.2 : Rektangulære fundamenter (Blokhus sand)
- 1971.1 : Fundamenters bæreevne (Blokhus sand)
- 1971.2 : Triaxialforsøg på Blokhus sand
- 1971.3 : Poretallets indflydelse på bæreevnen
- 1971.4 : Udrænedede triaxialforsøg på yoldialer
- 1971.5 : Konsolideringsforsøg på yoldialer
- 1971.6 : Modelforsøg med fundamenter (Normalsand no 2)
- 1971.7 : Fundamenters bæreevne (Blokhus sand)
- 1971.8 : Blokhus sandets styrkeegenskaber
- 1972.2 : Rektangulære fundamenter (Blokhus sand)

Yderligere har 23 elever i efteråret 1972 udført modelforsøg i forbindelse med laboratoriepraktik på 3. halvår.

RESUME AF LABORATORIETS HIDTIL UDFØRTE RAPPORTER

Rapport no 1 (dec 1970): Skøn af sands friktionsvinkel.

På grundlag af resultaterne fra en større serie triaxialforsøg på sand opstilles følgende skønsformel for sands triaxiale friktionsvinkel:
 $\sqrt{e} \cdot \tan \phi_{tr}^{sk} = 0,56$. Der argumenteres for anvendelsen af denne simple formel, der kun kræver kendskab til poretallet e , istedet for de hidtil opstillede og langt mere komplicerede skønsformler.

Rapport no 2 (maj 1971): Dansk Triaxialapparat type III, Manual.

Rapporten indeholder en detaljeret beskrivelse af enkeltdele og tilbehør til laboratoriets nyopstillede triaxialapparat samt en anvisning i apparatets brug med beskrivelse af diverse forsøgsprocedurer.

Rapport no 3 (nov. 1972): Laboratorieberetning.

Nærværende rapport, der indeholder en beskrivelse af funderingslaboratoriets indretning og opbygning fra fagets start i 1969 og frem til nov. 1972. Beretningen omfatter således laboratoriets forsøgsopstillinger samt hidtil udførte elevarbejder.

Rapport no 4 (aug. 1972): Konsolideringsapparat, Manual.

Rapporten indeholder en detaljeret beskrivelse samt anvisning i brugen af laboratoriets nyopstillede konsolideringsapparat med tilhørende forsøgsprocedurer.